СБОРНИКЪ СТАТЕЙ

ВЪ ПОМОЩЬ САМООБРАЗОВАНІЮ

по

МАТЕМАТИКѢ, ФИЗИКѢ, ХИМІИ И АСТРОНОМІИ,

составленныхъ кружкомъ преподавателей.

ВЫПУСКЪ IV.

(Съ 5 портретами и 73 чертежами).

Изданіемъ завѣдуетъ приватъ-доцентъ Императорскаго Московскаго Университета А. Н. Реформатскій.

Второе вновь переработанное изданіе.

Въ первомъ изданіи „Сборникъ" одобренъ Учебнымъ Комитетомъ Департамента Торговли и Мануфактуръ Министерства Финансовъ для фундаментальныхъ и ученическихъ библіотекъ коммерческихъ учебныхъ заведеній

Москва.—1901 г.

Въ виду того, что „Сборникъ" продается отдѣльными выпусками, и нѣкоторые читатели можетъ быть не имѣли возможности ознакомиться съ нашимъ предисловіемъ, приложеннымъ къ первому выпуску, мы повторяемъ его при настоящемъ послѣднемъ выпускѣ „Сборника".

При этомъ пользуемся случаемъ, чтобы еще разъ обратиться къ нашимъ читателямъ съ покорнѣйшею просьбой сообщить намъ свои заявленія относительно нашего „Сборника".

Всѣ таковыя заявленія просимъ адресовать на имя завѣдующаго изданіемъ „Сборника", приватъ-доцента Московскаго университета (Москва, Остоженка, Савеловскій пер., д. Гавриловой), **А. Н. Реформатскаго.**

Къ настоящему выпуску прилагаются именной и предметный указатели ко всѣмъ четыремъ выпускамъ.

Для желающихъ переплести III-й и IV-й выпуски въ одинъ томъ прилагаются особый титулъ и общее оглавленіе, которыми и должно замѣнить оба титула и оглавленія этихъ выпусковъ.

Составители.



ТИПОГРАФІЯ И ЦИНКОГРАФІЯ
Леонтьевскій пер., д. № 5.

ПРЕДИСЛОВІЕ КЪ ПЕРВОМУ ИЗДАНІЮ.

Настоящій сборникъ представляетъ собою трудъ коллективный: программа его вырабатывалась, и статьи обсуждались, по возможности, всѣмъ кружкомъ составителей.

Составители — по большей части преподаватели среднихъ и высшихъ учебныхъ заведеній въ С.-Петербургѣ и Москвѣ — задались цѣлью составить книгу, которая могла бы послужить для читателя дополненіемъ къ среднеобразовательному курсу физико-математическихъ наукъ: математики, физики, химіи и астрономіи (космографіи).

Составители прежде всего имѣли въ виду читателя, который, не удовлетворяясь запасомъ свѣдѣній, даваемыхъ среднею школой, пожелаетъ ознакомиться въ болѣе или менѣе систематическомъ изложеніи съ основными методами и важнѣйшими вопросами вышеназванныхъ наукъ, — затѣмъ, ученика средней школы, который, не довольствуясь матеріаломъ учебника, захотѣлъ бы полнѣе ознакомиться съ интересующими его вопросами; наконецъ, они расчитывали прійти на помощь своимъ товарищамъ-преподавателямъ, которые пожелали бы имѣть подъ руками матеріалъ, болѣе приспособленный къ потребностямъ средней школы, чѣмъ существующія на русскомъ языкѣ руководства, популярно-научныя и даже спеціальныя сочиненія.

Составители, предполагая извѣстными читателю элементарныя свѣдѣнія по названнымъ наукамъ въ объемѣ средняго гимназическаго курса, старались въ возможно доступной формѣ

изложить основные взгляды и пріемы этихъ наукъ, останавливаясь спеціально лишь на важнѣйшихъ случаяхъ практическаго ихъ примѣненія.

Сборникъ не претендуетъ на полноту изложенія затронутыхъ въ немъ темъ, такъ какъ иначе пришлось бы выйти за предѣлы общедоступной книги *). Для читателя же, который не удовлетворится тѣмъ, что даетъ та или другая статья сборника, въ концѣ каждой статьи указываются сочиненія, по которымъ можно ознакомиться болѣе подробно съ трактуемыми въ статьѣ вопросами.

При изложеніи составители старались, по возможности, обходить сложные математическіе выводы. Тамъ же, гдѣ такіе выводы являлись неизбѣжными, они снабжены поясненіями. По тѣмъ же соображеніямъ математическій отдѣлъ сборника сведенъ до минимума.

Другіе отдѣлы (физика, химія и астрономія) представлены въ сборникѣ съ большею полнотой, но также неравномѣрно. Составители руководились при этомъ какъ учебными планами среднеобразовательной школы, такъ, отчасти, и тѣмъ, насколько полна и систематична популярная литература этихъ наукъ на русскомъ языкѣ.

Въ виду того, что элементарныя основанія физики преподаются довольно подробно въ средней школѣ, представилась возможность болѣе широкаго разсмотрѣнія этого предмета въ предлагаемомъ сборникѣ, такъ что почти половина его посвящена отдѣлу физики. Другою, не менѣе важною причиной расширенія физическаго отдѣла служитъ положеніе физики, какъ науки основной для естествознанія.

Химія же въ курсъ средней школы почти не входитъ, и русская популярная литература по ней очень бѣдна. Поэтому въ сборникѣ химія представлена сравнительно элементарно: въ этомъ отдѣлѣ пришлось сосредоточить все вниманіе на изложеніи первоначальныхъ основъ и пріемовъ науки, чтобы дать читателю возможность приступить затѣмъ къ систематическому

---

*) Сборникъ выходитъ въ свѣтъ выпусками, представляющими собою не самостоятельныя книги, а лишь части одного цѣлаго.

ческому изученію ея по имѣющимся уже въ русской литературѣ руководствамъ.

Что же касается астрономіи, то хотя она и слабо представлена въ курсѣ средней школы, но ей посчастливилось въ популярной литературѣ. Поэтому составители придали этому отдѣлу въ сборникѣ болѣе серіозный характеръ.

Сознавая всю трудность взятой на себя задачи, составители далеки отъ мысли, что имъ удалось справиться съ нею,—тѣмъ болѣе, что не было опыта, которымъ можно было бы руководиться. Поэтому всѣ справедливыя замѣчанія и указанія будутъ выслушаны составителями съ искреннею благодарностью и будутъ приняты въ соображеніе при переработкѣ сборника для слѣдующаго изданія, если таковое потребуется.

Всѣ заявленія, касающіяся сборника, составители покорнѣйше просятъ адресовать на имя завѣдующаго изданіемъ сборника привать-доцента Московскаго университета *А. Н. Реформатскаго* (Москва, Остоженка, Савеловскій пер., домъ Гавриловой).

Каждая статья сборника представляетъ собою нѣчто законченное, хотя и стоящее въ связи съ другими статьями. Для удобства связь статей указана подстрочными ссылками, при чемъ жирная цифра означаетъ номеръ статьи, а обыкновенная—номеръ параграфа.

Авторы статей „Сборника" приносятъ сердечную благодарность **Александру Николаевичу Реформатскому**, съ неустанною энергіей, рѣдкимъ умѣньемъ и тактомъ проведшему сложное дѣло завѣдыванія изданіемъ коллективнаго труда.

И. С. Абельманъ, А. А. Байковъ, А. М. Биркенгеймъ Б. П. Вейнбергъ, А. В. Вульфъ, А. Л. Гершунъ, А. С. Гинзбергъ, Д. А. Головъ, С. Д. Грибоѣдовъ, М. В. Ивановъ, В. П. Ижевскій, М. И. Коноваловъ, В. К. Лебединскій, П. П. Леоновъ, Р. Р. Ліандеръ, Л. Г. Малисъ, В. Ф. Митковичъ, А. П.

Постниковъ, Б. Л. Розенъ, А. А. Рыдзевскій, С. И. Савиновъ, Л. М. Серебряковъ, С. И. Созоновъ, А. В. Сперанскій, Н. В. Степановъ, В. К. Черкасъ, В. П. Шереметевскій и С. В. Щербаковъ.

Составители и завѣдующій изданіемъ „Сборника“ считаютъ долгомъ выразить свою признательность Я. Л. Баркову, принимавшему живое участіе въ ихъ общей работѣ, а также товариществу типографіи А. И. Мамонтова за его помощь въ дѣлѣ осуществленія настоящаго изданія.

Завѣдующій изданіемъ „Сборника“
А. Н. Реформатскій.

Москва, 1898 г.
15 октября.

34. Начало астрономіи и древнѣйшее состояніе астрономическихъ знаній.

L'Astronomie, par la dignité de son objet et par la perfection de ses théories, est le plus beau monument de l'esprit humain, le titre le plus noble de son intelligence.

P. S. De-Laplace.

(Expos. du Syst. d. Monde L. V, Ch. V.) *).

Введеніе.

Астрономія — одна изъ древнѣйшихъ наукъ, и трудно теперь сказать, гдѣ и когда именно получила она свое начало. Нѣтъ никакого сомнѣнія лишь въ томъ, что наука эта, какъ и всякая другая область человѣческаго знанія, развивалась медленно и постепенно. Первоначальная астрономія въ томъ видѣ, какъ она представляется у древнѣйшихъ народовъ нѣсколько тысячелѣтій тому назадъ, едва ли даже можетъ быть названа именемъ науки въ современномъ значеніи этого слова. **Древность астрономіи.**

Задача и цѣль, какія ставилъ себѣ древнѣйшій человѣкъ при изученіи неба и его свѣтилъ, какъ увидитъ читатель изъ дальнѣйшаго изложенія, значительно отличаются отъ современныхъ стремленій астрономіи.

Современная астрономія есть наука о вселенной. Все, что существуетъ въ небесномъ пространствѣ: солнце, луна, планеты и **Предметъ современной науки.**

---

*) „Астрономія, по достоинству своего предмета и по совершенству ея теорій, есть величественнѣйшій памятникъ человѣческаго духа, замѣчательнѣйшее доказательство его геніальности". Лапласъ. Изложеніе системы міра.

наша земля въ томъ числѣ, звѣзды, кометы и туманности,—все это составляетъ вселенную, изученіемъ которой занимается астрономія. Наука эта стремится разъяснить намъ, какъ устроенъ міръ, каковы размѣры звѣзднаго пространства и какое мѣсто занимаетъ въ немъ наша солнечная система, куда она движется; кромѣ того, она объясняетъ намъ, что такое звѣзды, солнце, планеты и наша земля въ міровомъ пространствѣ; она даетъ также научныя толкованія, какъ произошли міры, какъ произошли солнце, планеты и въ числѣ ихъ ничтожная земля — эта песчинка, съ которой мы гордо смотримъ на всю вселенную, и которую мы такъ склонны считать центромъ и главнымъ пунктомъ всего міра.

Вотъ тѣ ближайшіе общіе вопросы, которые составляютъ содержаніе современной астрономіи.

Въ виду особаго интереса, какой всегда возбуждаютъ астрономическія знанія, считаемъ нелишнимъ вкратцѣ познакомить читателя съ первыми древнѣйшими шагами этой науки.

Роль климатическихъ условій въ первыхъ наблюденіяхъ.

1. Въ различныя эпохи исторической жизни народовъ наблюденіе звѣзднаго неба носило разный характеръ. Первые шаги этихъ наблюденій, безъ сомнѣнія, находились въ непосредственной зависимости отъ условій климата и мѣстности, гдѣ обитали народы.

Такъ, напримѣръ, извѣстно, что древнѣйшіе арійцы, эти прародители индо-европейской семьи народовъ, кочуя у склоновъ Гималайскихъ горъ, въ климатѣ, весьма благопріятствовавшемъ наблюденіямъ надъ атмосферными и небесными явленіями, были уже знатоками неба. Такія явленія, какъ молнія и громъ, вихрь или ураганъ, солнечное или лунное затменіе, появленіе кометы и проч., не проходили предъ глазами этого народа незамѣченными. Практическія условія жизни кочевыхъ народовъ заставляли ихъ внимательно слѣдить за всѣми перемѣнами неба. Такъ, по восходу или заходу солнца, по блеску и мерцанію звѣздъ, по чистотѣ или облачности неба—древнѣйшій человѣкъ могъ уже съ достаточною вѣроятностью угадывать перемѣну погоды, какъ и теперь угадываетъ ее иногда нашъ простолюдинъ.

Возникновеніе сабеизма.

Признавая свою полную зависимость отъ погоды, отъ состоянія неба, отъ небесныхъ свѣтилъ, древнѣйшій человѣкъ относился къ небеснымъ явленіямъ съ религіознымъ благоговѣніемъ; въ звѣздахъ онъ видѣлъ проявленіе лучезарныхъ боговъ и по знаменіямъ неба онъ старался читать ихъ волю. Такъ, мало-по-малу, возникъ и раз-

вился въ древнѣйшую эпоху человѣческой жизни религіозный культъ небесныхъ свѣтилъ (сабеизмъ), въ которомъ жрецы положили начало наблюдательной астрономіи.

Въ этомъ религіозномъ культѣ солнце, какъ извѣстно, играло наиболѣе видную роль. Арійцы, равно какъ потомъ греки, египтяне и восточные народы: ассиріяне, халдеи, вавилоняне и финикіяне— видѣли въ дневномъ свѣтилѣ наиболѣе могущественное проявленіе божества; въ честь его устраивались особыя религіозныя празднества съ жертвоприношеніями и пѣснопѣніями. Подобное же поклоненіе воздавалось лунѣ и пяти планетамъ, извѣстнымъ съ самыхъ отдаленныхъ временъ.

Жители города Сабу, въ аравійской области Іемена, кромѣ поклоненія солнцу, лунѣ и пяти планетамъ, воздавали еще особыя почести наиболѣе яркимъ звѣздамъ,—отъ чего и поклоненіе звѣздамъ вообще стало называться „сабеизмомъ". Арабы Іемена поклонялись также падающимъ звѣздамъ и тѣмъ камнямъ, которые считались упавшими съ неба. Таковъ, говорятъ, и черный камень Каабы въ Меккѣ, который вѣроятно метеорнаго происхожденія.

Халдеи, вавилоняне, ассиріяне и египтяне оставили разнообразные письменные памятники, свидѣтельствующіе о религіозномъ отношеніи этихъ народовъ къ небу и къ небеснымъ свѣтиламъ.

Мифологическое представленіе неба.

2. Однако ни одинъ народъ древности не сохранилъ для насъ такого множества разнообразныхъ и занимательныхъ разсказовъ (мифовъ) о небесныхъ явленіяхъ, какъ древніе греки. Небесныя свѣтила въ греческихъ мифахъ художественно изображаются то въ образѣ величественныхъ людей или героевъ, то въ образѣ боговъ, носящихъ вполнѣ человѣческія качества и свойства. На небесномъ сводѣ грекъ видѣлъ въ образахъ всю свою мифическую исторію; и группы звѣздъ или созвѣздія, а также и отдѣльныя яркія звѣзды напоминали ему дѣла давно минувшихъ дней. Звѣздное небо, въ своихъ названіяхъ и обозначеніяхъ, и до нашего времени осталось хранителемъ преданій глубокой старины.

Арійцы и др.

Дѣленіе звѣзднаго неба на группы звѣздъ или на созвѣздія относится къ самому древнему времени. Еще арійцы видѣли въ звѣздныхъ группахъ различнаго рода фигуры, людей, звѣрей и даже орудія и сосуды. Вавилоняне и ассиріяне въ звѣздныхъ кучахъ видѣли цѣлые легіоны небеснаго воинства; вообще, одухотвореніе и олицетвореніе неба относится къ древнѣйшему періоду человѣческой жизни. Такъ, уже Веды, священныя книги арійцевъ, написанныя, какъ полагаютъ, за XV в. до Р. X., называютъ въ числѣ

различныхъ божествъ, населяющихъ небо, небесныхъ лошадей или быковъ, рисовавшихся въ причудливыхъ группахъ звѣздъ пылкой фантазіи этого народа.

Греки. Греческіе поэты даютъ намъ мифологическое объясненіе многихъ названій и фигуръ звѣздныхъ группъ, а также указываютъ и на происхожденіе названій отдѣльныхъ звѣздъ [1]). Уже у Гомера, жившаго, какъ полагаютъ около 1050 г. до Р. Х., мы находимъ названія многихъ созвѣздій; въ позднѣйшее же время греки насчитывали ихъ до 48: 21 созвѣздіе на сѣверномъ небѣ, 15 на южномъ и 12 въ зодіакѣ [2]).

Такъ, напримѣръ, современная „Полярная звѣзда" называлась у древнихъ грековъ „Киносура", что значитъ собачій хвостъ, такъ какъ звѣзда эта находилась въ концѣ хвоста Малой Медвѣдицы. Собственное же имя „Киносура" носила нимфа горы Иды, кормилица Зевса, помѣщенная этимъ послѣднимъ въ число звѣздъ въ образѣ медвѣдицы. Созвѣздіе Большого Пса (Canis major) въ древности называлось также Сиріусомъ, который представлялъ собою сидящую собаку. Позже именемъ Сиріуса стали называть самую яркую звѣзду въ созвѣздіи Большого Пса. Съ вечернимъ восходомъ этой звѣзды, въ Греціи наступали самые жаркіе дни, которые назывались днями Пса или, по латинскому наименованію, каникулами (отъ слова canis=собака). Отсюда произошло и наше названіе жаркаго лѣтняго времени — каникулами. Созвѣздіе „Плеяды", по мифамъ, представляло сестеръ другого созвѣздія — „Гіады". Время года, когда Плеяды появлялись вечеромъ на восточной части горизонта, считалось въ Греціи самымъ благопріятнымъ для мореплавателей, поэтому семизвѣздіе Плеядъ называлось звѣздами мореходовъ. „Гіады" въ переводѣ на русскій языкъ означаетъ—дающія дождь; и дѣйствительно, въ Греціи, съ вечернимъ восходомъ этого созвѣздія, начиналось дождливое время года.

Очевидно, что подобные же взгляды и вѣрованія существовали и у древнѣйшихъ восточныхъ народовъ и такимъ же образомъ

---

[1]) Интересующихся мифологическимъ объясненіемъ созвѣздій отсылаемъ къ сочиненію Фр. Любкера: „Реальный словарь классическихъ древностей", статья „Sidera".

[2]) Зодіакомъ называютъ поясъ 12-ти созвѣздій, по которому видимо движется солнце въ теченіе года. Въ переводѣ на русск. языкъ *Зодіакъ* значитъ „кругъ животныхъ", такъ какъ большинство созвѣздій, входящихъ въ него, носятъ названія животныхъ.

приводили къ подраздѣленію звѣзднаго неба на группы звѣздъ или созвѣздія.

3. По мѣрѣ того, какъ вѣрованія въ зависимость человѣка отъ небесныхъ явленій все болѣе и болѣе укрѣплялись среди древнѣйшихъ народовъ, по мѣрѣ созданія религіознаго культа, все болѣе и болѣе выдѣлялась отдѣльная каста жрецовъ, которая потомъ и взяла на себя исключительное право ближайшаго сношенія съ богами и завѣдываніе дѣлами неба. **Роль жрецовъ.**

Наблюденіе звѣзднаго неба было однимъ изъ самыхъ любимыхъ занятій древнихъ жрецовъ. Вѣрованія того времени позволяли жрецамъ, путемъ изученія движенія небесныхъ свѣтилъ, изрекать всякія предсказанія, въ которыхъ божество якобы указывало людямъ свою волю и давало совѣты. Такъ, напримѣръ, брамины, близъ мѣстности Санта-Синду, утромъ, въ полдень и вечеромъ, при наступленіи новолунія и полнолунія, а также при наступленіи временъ года, каждый разъ исправно приносили жертвы божествамъ, и вслѣдствіе этого обязаны были слѣдить за ходомъ или движеніемъ солнца и луны, какъ суточнымъ, такъ и годовымъ, а также и за видимымъ перемѣщеніемъ неподвижныхъ звѣздъ. Въ древней Греціи были даже учреждены очистительныя и примирительныя жертвоприношенія въ честь Сиріуса, палящіе и пагубные лучи котораго, по мнѣнію грековъ, производили засуху и болѣзни на животныхъ и людяхъ.

Наблюденіе неба въ рукахъ жрецовъ сдѣлалось своего рода таинственнымъ священнодѣйствіемъ, доступнымъ только ихъ замкнутой кастѣ; и каста жрецовъ, такимъ образомъ, стала истинною хранительницей человѣческой мудрости и двигателемъ науки того времени. Астрономическія наблюденія обратились въ средство для гаданій и предсказаній по звѣздамъ, и астрономія сдѣлалась наукою для религіозныхъ цѣлей. Древніе гадатели и предсказатели по звѣздамъ извѣстны подъ именемъ *астрологовъ*, а астрономія того времени носитъ названіе *астрологія*.

Несмотря, однако, на чисто-религіозную цѣль, какую преслѣдовала астрологія, эта таинственная наука послужила преддверіемъ истинной астрономіи, такъ какъ многіе астрологи были вмѣстѣ съ тѣмъ хорошими наблюдателями. Астрологія по отношенію къ астрономіи сыграла ту же роль, какую средневѣковая алхимія сыграла для химіи.

Нужно думать, что астрологія ведетъ свое происхожденіе отъ халдеевъ и вавилонянъ. Астрономическія наблюденія, какъ объ **Происхожденіе астрологіи.**

этомъ свидѣтельствуютъ различные письменные памятники, у жителей Халдеи чуть ли не восходятъ даже къ легендарной эпохѣ Нимврода. Ассиріяне же, астрономическія знанія которыхъ стояли почти на такой же высотѣ какъ и халдеевъ, были однако въ этомъ отношеніи лишь учениками вавилонянъ, и ихъ астрономическія наблюденія не имѣли самобытнаго развитія. Во всякомъ случаѣ, астрологія получила свое начало у этихъ народовъ древнѣйшей культуры.

Многія названія и обозначенія, еще и теперь употребляющіяся въ наукѣ, заимствованы изъ халдео-ассирійской науки. Таковы: дѣленіе небеснаго круга (зодіака), по которому видимо движется солнце, на 12 равныхъ частей, называемыхъ знаками зодіака; дѣленіе окружности на 360 равныхъ частей или градусовъ, дѣленіе градуса на 60 минутъ и минуты на 60 секундъ. Халдеямъ и ассиріянамъ приписываютъ также дѣленіе сутокъ на 24 часа, часа на 60 минутъ и минуты на 60 секундъ.

Извѣстно, что въ Халдеѣ и Ассиріи астрономическія наблюденія въ связи съ астрологіей получили наибольшее развитіе. Астрологи этихъ странъ пользовались громаднымъ авторитетомъ при дворахъ восточныхъ царей.

Древняя обсерваторія астрологовъ.

Ниневійскіе цари такъ же, какъ и вавилонскіе, обыкновенно ничего не начинали безъ предсказанія астрологовъ. Царскіе астрологи съ высоты особо устроенной астрономической обсерваторіи, носившей названіе „Зикура", слѣдили за состояніемъ звѣзднаго неба и за движеніями планетъ; обо всемъ, что происходило на небѣ, придворные астрологи обязаны были давать отчетъ своему монарху. Зикура представляла собою родъ башни въ семь этажей, расположенныхъ уступами и окрашенныхъ въ священные цвѣта семи небесныхъ свѣтилъ. Основнымъ нижнимъ цвѣтомъ былъ бѣлый (цвѣтъ Венеры), затѣмъ слѣдовали: черный (Сатурна), пурпуровый (Юпитера), синій (Меркурія), алый (Марса), серебряный (Луны) и золотой (Солнца). Такова именно была Зикура, устроенная позади гарема ассирійскаго дворца и имѣвшая въ высоту 43 метра.

Съ высоты такой башни, какъ съ обсерваторіи, астрологи производили свои астрономическія наблюденія и, являясь утромъ къ своему царю, возвѣщали знаменія неба. Каждое утро главный царскій астрологъ или министръ небесныхъ дѣлъ, какъ величали китайцы такого астролога, обязанъ былъ являться къ царю и вмѣстѣ съ пожеланіемъ добраго утра сообщать о небесныхъ явленіяхъ.

Въ архивахъ Кюинджикскаго дворца сохранились обожженныя глиняныя плитки, на которыхъ, между прочимъ, записано слѣдующее донесеніе астролога своему монарху: „Основателю зданій, царю, своему господину, его покорный слуга Набоиддинъ, великій астрологъ Ниневіи, шлетъ привѣтъ. Пусть Небо и Меродахъ (планета Юпитеръ) будутъ благосклонны къ основателю зданій, царю и моему повелителю! въ 15-й день сего мѣсяца Луна была въ затменіи. Мы наблюдали вступленіе Луны въ лунный узелъ“.

Сила астрологическихъ предразсудковъ.

Вѣрованія въ зависимость человѣческой жизни отъ небесныхъ явленій играли въ древнѣйшей исторіи человѣка громадную роль. Нелегко удалось человѣку освободиться отъ этихъ вѣрованій даже въ средніе вѣка исторіи, когда астрологическіе предразсудки были въ полной еще силѣ. Насколько велика была сила предразсудковъ видно изъ того, что даже творецъ новѣйшей системы міра — Коперникъ и преемникъ его Кеплеръ занимались еще астрологическими предсказаніями. Знаменитый астрономъ Тихо Браге, доставившій обширный матеріалъ для открытій Кеплера, прямо утверждалъ еще, что „планеты, обращающіяся по удивительнымъ законамъ, были бы совершенно безполезными твореніями, если бы онѣ не вліяли на судьбу людей“.

До чего сильна была вѣра въ небесныя знаменія, можно судить хотя бы уже по одному тому, что астрологія мало-по-малу начала терять свое значеніе и силу для передовыхъ умовъ не болѣе двухъ столѣтій тому назадъ и въ продолженіе своего существованія легко уживалась съ христіанствомъ. Но астрологія позднѣйшихъ временъ представляла собою лишь слабый, дряхлѣющій отпрыскъ древнѣйшихъ вѣрованій и не могла уже служить успѣхамъ астрономіи.

Роль мореплаванія въ развитіи древней астрономіи.

4. Астрономическія свѣдѣнія древнѣйшихъ временъ, будучи замкнуты въ жреческихъ кастахъ, осуждены были бы на вѣчный застой, если бы другія причины, побудившія древнѣйшаго человѣка взяться за изученіе неба, не вывели астрономію изъ этого состоянія. По мѣрѣ того, какъ народы Востока вступаютъ въ сношенія съ другими болѣе отдаленными народами, астрономическія знанія получаютъ болѣе или менѣе самостоятельное развитіе. По мѣрѣ развитія торговли сухопутной и, главнымъ образомъ, морской, астрономическія наблюденія перестаютъ быть уже исключительной монополіей жрецовъ и мало-по-малу дѣлаются достояніемъ отважныхъ мореходовъ и купцовъ.

Въ эпоху развитія мореплаванія появляются даже болѣе или менѣе вѣроятныя предположенія о размѣрахъ земли и ея формѣ. До

этого времени мысль человѣка сосредоточивалась по преимуществу на небесныхъ явленіяхъ; и хотя въ древнѣйшихъ сказаніяхъ мы находимъ попытки уяснить отношеніе земли къ небу, но отъ этихъ попытокъ до сколько-нибудь вѣроятныхъ предположеній о фигурѣ и величинѣ земли было еще слишкомъ далеко.

Успѣхи мореплаванія. Международныя сношенія, торговля и мореплаваніе въ достаточной степени процвѣтали уже въ древнѣйшую эпоху исторической жизни. Вавилонъ и Ниневія, эти центры жреческой астрологіи, были прекрасно расположены для торговыхъ цѣлей; постоянный обмѣнъ товаровъ происходилъ между Вавилономъ и Лидіей; торговля Вавилона, распространяясь все далѣе и далѣе, достигала даже Индіи; прекрасные для того времени корабли вавилонянъ плавали по всему Эритрейскому морю (Персидскій заливъ). Но самыми искусными древними мореплавателями считались фокеяне, жители іонійской колоніи Фокеи, въ М. Азіи; они пускались въ дальнія плаванія по Средиземному морю и основывали колоніи на эллинскихъ побережьяхъ, вѣроятно, даже около XIII в. до Р. Х. О древнѣйшей предпріимчивости грековъ свидѣтельствуетъ, между прочимъ, мифъ о походѣ аргонавтовъ. Нужно полагать, что предпріятіе Язона можетъ относиться лишь къ срединѣ XIII в. до Р. Х. Смѣлые и отважные финикіяне пускались для торговыхъ цѣлей въ еще болѣе дальнія плаванія. По свидѣтельству Геродота они, при египетскомъ фараонѣ Нехао (около VII в. до Р. Х.), отправившись изъ Эритрейскаго залива, объѣхали вокругъ Ливіи (соврем. Африка), на сѣв. берегу которой жили, пока не переселились впослѣдствіи въ Палестину,—и возвратились черезъ Геркулесовы столбы (Гибралтарскій проливъ).

Такимъ образомъ, финикіяне и іоняне уже въ глубокой древности избороздили, можно сказать, все Средиземное море, при чемъ первые огибали даже западные берега Европы. Въ то же время вавилоняне и, нѣсколько позднѣе, обитатели Аравіи распространяли свое мореплаваніе на востокъ Азіи и господствовали въ „Южномъ морѣ“, означающемъ, по Геродоту, Индійскій океанъ.

Таковы успѣхи древняго мореплаванія, сыгравшаго важную роль въ развитіи астрономическихъ свѣдѣній у народовъ того отдаленнаго времени.

Пока торговля ограничивалась сухимъ путемъ и плаваніемъ близъ береговъ, знанія звѣзднаго неба не нуждались въ большой точности. Купцы могли ограничиваться во время плаванія лишь самыми простыми наблюденіями неба, необходимыми для того,

чтобы не потерять направленія берега и не сбиться съ пути. Во время же дневного плаванія, вѣроятно, берегъ никогда не скрывался подъ горизонтомъ; онъ постоянно служилъ единственнымъ указателемъ и путеводителемъ ихъ морского предпріятія. Едва ли, однако, на этой ступени мореплаванія наблюденіе неба нуждалось въ большей точности, чѣмъ это нужно было жрецамъ для ихъ религіозныхъ цѣлей; во всякомъ случаѣ, кормчій этой эпохи не могъ нуждаться въ точности астрономическихъ наблюденій, пока корабли его не принуждены были пускаться на дальнія разстоянія въ открытое море.

Плаванія въ открытомъ морѣ и усовершенствованіе астрономическихъ наблюденій.

Напрасно стараются нѣкоторые утверждать, будто древніе мореплаватели, не зная компаса, не могли пускаться въ открытое море изъ боязни потерять изъ виду берегъ. Примѣры изъ исторіи мореплаванія убѣждаютъ насъ, что задолго до появленія компаса въ Европѣ совершались уже весьма отважныя плаванія и открытія новыхъ земель. Такъ, норманы въ IX столѣтіи по Р. Х., т. е. по крайней мѣрѣ, за 3 или 4 вѣка до того времени, когда магнитная стрѣлка стала извѣстна въ Европѣ, ходили безъ компаса въ Исландію и плавали въ открытомъ морѣ. Нѣкоторые другіе примѣры изъ исторіи позднѣйшихъ временъ, на которыхъ останавливаться не будемъ, также убѣждаютъ насъ, что не компасъ предоставилъ мореходамъ открытое море [3]). Этимъ однако нисколько не умаляется важное значеніе этого инструмента для дальнѣйшихъ обширныхъ географическихъ открытій.

Съ началомъ плаваній въ открытомъ морѣ, астрономическія наблюденія народовъ древности, не обладавшихъ еще тогда такимъ важнымъ инструментомъ, какъ компасъ, нуждались уже въ значительной точности. Отважный мореплаватель древности, какъ справедливо замѣчаетъ французскій астрономъ Фай (Faye), былъ уже выдающимся астрономомъ своего времени, такъ какъ знаніе звѣздного неба и астрономическія наблюденія могли служить для него единственно вѣрнымъ руководствомъ, безъ которого рискованно было тогда пускаться въ плаваніе и терять изъ виду берега материка. Что кормчій древней эпохи мореплаванія былъ уже знатокомъ звѣздного неба, объ этомъ свидѣтельствуетъ Гомеръ, изображающій намъ своего Одиссея, во время странствованія его къ острову Итакѣ (нынѣ Корфу), достаточно опытнымъ кормчимъ, знающимъ многія созвѣздія. „Все время“, — говоритъ Гомеръ — „Одиссей

---

[3]) Смотр. *О. Пешель.* Исторія открытій.

ночью правилъ рулемъ, распустивъ паруса, и не спускалъ глазъ съ созвѣздій *Плеядъ*, Боотеса (*Волопаса*) и Медвѣдицы, и непрерывно плылъ онъ такъ по морю" [1]). Такимъ образомъ очевидно, что во времена Гомера имѣли уже правильное представленіе картины звѣздного неба, и знаніемъ его руководились въ морскихъ плаваніяхъ. Точно также и кормчій Палинуръ, у Виргилія, все время *сидитъ на кораблѣ и*, устремивъ глаза на небо, слѣдитъ за закатомъ свѣтилъ, чтобы по нимъ опредѣлить свой путь.

Характеристика древняго кормчаго, какъ астронома.

Вотъ какъ характеризуетъ Фай знанія кормчаго древнѣйшей эпохи мореплаванія. Кормчій этой эпохи долженъ былъ подробно изучить небо для того, чтобы безъ всякихъ измѣрительныхъ приборовъ можно было узнавать звѣзды съ перваго взгляда; онъ долженъ былъ умѣть отыскивать небесный полюсъ по тѣмъ созвѣздіямъ, которыя вращаются вокругъ него, долженъ былъ изучить экваторіальныя звѣзды, чтобы, наблюдая восходъ и заходъ ихъ, опредѣлять истинныя мѣста востока и запада. Но для того, чтобы оріентироваться днемъ въ открытомъ морѣ по солнцу, кормчій уже долженъ былъ быть настоящимъ астрономомъ. Такъ какъ солнце восходитъ и заходитъ не всегда въ одной и той же точкѣ горизонта, то для оріентировки по солнцу, нужно уже было знать годичное движеніе его между такъ называемыми зодіакальными звѣздами.

Понятно, что для такого знанія требовалась уже извѣстная точность наблюденій и значительная продолжительность времени.

Какъ ни велики, однако, были заслуги восточныхъ мореплавателей въ звѣздной астрономіи, во всякомъ случаѣ мы мало знаемъ о состояніи ихъ знаній въ эту эпоху, и только благодаря финикіянамъ, этимъ усерднымъ проводникамъ въ Европу восточной культуры, мы можемъ съ большимъ или меньшимъ вѣроятіемъ думать, что успѣхи наблюдательной астрономіи въ древнѣйшую эпоху мореплаванія достигли должнаго развитія.

Значеніе финикіянъ.

Ни одинъ народъ древности не стоялъ выше финикіянъ въ дѣлѣ морскихъ открытій и въ дѣлѣ распространенія восточной культуры среди народовъ Средиземнаго моря. Благодаря имъ, искусства и науки Египта, Ассиріи и Вавилона проникли на Западъ. Греки переняли отъ финикіянъ азбучное письмо, а также и свѣдѣнія по астрономіи, столь важныя для мореплаванія; отъ нихъ же они заимствовали и различные способы вычисленія. Арифметика и астрономія перешли къ грекамъ отъ финикіянъ.

---

[1]) Одиссея. Пѣснь V, ст. 270—275.

Астрономическія знанія восточныхъ народовъ, будучи перенесены финикіянами въ Европу, сдѣлались въ рукахъ грековъ истинною наукой. Гиппархъ [5]) и Птоломей [6]), воспользовавшись извѣстными въ то время астрономическими наблюденіями Востока, создали цѣлую систему научной астрономія. Въ рукахъ этихъ великихъ ученыхъ, астрономія стала точною наблюдательною наукой и освободилась отъ связи съ жреческою астрологіей, которая такъ долго существовала неразрывно съ нею на Востокѣ среди азіатскихъ народовъ.

Астрономическія свѣдѣнія древнѣйшихъ народовъ.

5. Хотя развитіе астрономическихъ знаній у древнѣйшихъ народовъ шло постепенно и медленно, но тѣмъ не менѣе успѣхи, достигнутые этими народами, представляются весьма значительными. Какъ ни примитивны и грубы были тѣ средства и способы, какими производились древнѣйшія астрономическія наблюденія, когда какой-нибудь жрецъ съ высоты Зикуры единственнымъ своимъ орудіемъ — простымъ глазомъ — слѣдилъ за ходомъ небесныхъ явленій и теченіемъ звѣздъ, все-же эти наблюденія создали и заложили первый фундаментъ науки. Скажемъ теперь, хотя вкратцѣ, о тѣхъ астрономическихъ наблюденіяхъ и свѣдѣніяхъ древнѣйшихъ народовъ, какія послужили основой для дальнѣйшаго хода и развитія астрономическихъ знаній у грековъ.

Какія же астрономическія свѣдѣнія завѣщаны намъ древнѣйшей астрономіей?

Въ развалинахъ многихъ храмовъ Востока часто находятъ на обожженныхъ кирпичныхъ плиткахъ различныя замѣтки, а также чертежи, относящіеся къ астрономическимъ наблюденіямъ того отдаленнаго времени и свидѣтельствующіе о состояніи астрономическихъ знаній [7]).

Движеніе луны.

Въ библіотекѣ царя Ассурбанипала, въ Ниневіи, найдены такія четыреугольныя плитки изъ обожженной глины, каждая сторона которыхъ представляетъ очень тонкую и сжатую клинообразную скоропись, заключающую въ себѣ свѣдѣнія халдеевъ по астрономіи. Изъ этихъ таблицъ узнали, что движеніе луны было доста-

[5]) Гиппархъ — греческій астрономъ — жилъ отъ 160 — 125 г. до Р. Х.

[6]) Клавдій Птоломей изъ Александріи (70 — 147 г. по Р. Х.), основатель древней системы міра, господствовавшей до временъ Коперника (1543 г.). Объ астрономіи грековъ подробнѣе см. слѣд. статью.

[7]) Жрецы Востока обыкновенно заносили свои знанія на глиняныя плитки, которыя потомъ обжигались; въ Египтѣ уже для этой цѣли служилъ папирусъ, особый родъ бумаги, выдѣлывавшійся изъ волоконъ растенія этого же имени.

точно уже извѣстно астрономамъ Месопотаміи, и что въ эту эпоху имѣли уже возможность предсказывать лунныя затменія.

Измѣненія видимаго диска луны и перемѣщеніе луны между звѣздами не могли быть не замѣчены даже самымъ неопытнымъ глазомъ, тогда какъ годовыя измѣненія положеній солнца относительно звѣздъ требовали болѣе тщательныхъ и болѣе усердныхъ наблюденій. Вотъ почему считать время древнѣйшему человѣку было несравненно легче и удобнѣе по измѣненіямъ луны, т. е., собственно, по обращеніямъ луны или *мѣсяцамъ*, чѣмъ по видимому перемѣщенію солнца между звѣздами, т. е. по годамъ. Такимъ образомъ наиболѣе обыкновеннымъ счетомъ времени было счисленіе по движенію луны.

Счетъ времени по обращеніямъ луны.

Наблюденія надъ движеніями планетъ.

Діодоръ[8]) разсказываетъ, что халдеи весьма прилежно слѣдили съ вершины храма Вела (Ваала) за восходомъ и заходомъ звѣздъ и особенно за движеніями планетъ. Путемъ такихъ наблюденій они могли найти времена, когда происходитъ движеніе впередъ и назадъ такихъ планетъ, какъ Сатурнъ, Юпитеръ и Марсъ, а также, вѣроятно, изъ этихъ наблюденій они могли опредѣлить и время, въ теченіе котораго эти планеты совершаютъ свой кругъ и возвращаются въ ту же самую часть неба. Что же касается Венеры и Меркурія, то обороты этихъ планетъ, вѣроятно, могли быть наблюдаемы и безъ особой тщательности, такъ какъ планеты эти никогда не удаляются отъ солнца на большія разстоянія. Безъ сомнѣнія, уже древнѣйшіе народы видѣли въ Венерѣ одну и ту же утреннюю и вечернюю звѣзду.

Вычисленіе и предсказаніе затменій.

6. Наблюденіе затменій относится къ древнѣйшимъ временамъ, и записи затменій составляютъ древнѣйшія астрономическія извѣстія. Предсказанія лунныхъ затменій относятся къ глубокой древности, такъ какъ вѣрованія древнѣйшихъ народовъ придавали большое значеніе этимъ предсказаніямъ. Астрономы древней Месопотаміи, какъ полагаютъ, дошли даже до опредѣленія средняго суточнаго движенія луны — свѣтила, движеніе котораго служило имъ для измѣренія времени. Для вычисленія лунныхъ затменій халдеи пользовались періодомъ приблизительно въ 18 лѣтъ, или въ 223 лунныхъ обращеній; по прошествіи этого періода, называемаго *саросъ*, лунныя затменія повторяются въ томъ же порядкѣ и въ томъ же приблизительно видѣ. Саросъ былъ, очевидно, вычисленъ

---

[8]) Діодоръ Сицилійскій — историкъ, жившій около 40 г. до Р. Х., написалъ Всемірную Исторію въ 40 книгахъ, изъ которыхъ до нашего времени сохранилось только пять.

лишь путемъ продолжительныхъ наблюденій и записей лунныхъ затменій. Свои астрономическія наблюденія и вычисленія халдеи относили къ эрѣ Набонассара, которая началась въ 747 г. до Р. Х. Первое письменное извѣстіе *о вычисленіи луннаго затменія* у халдеевъ, дошедшее до насъ, относится къ 19 марта 720 г. до Р. Х. Солнечныхъ же затменій, предсказаніе которыхъ представляетъ значительные трудности, древніе астрономы Месопотаміи предсказывать не умѣли и потому, какъ говоритъ Діодоръ, ограничивались лишь однимъ записываніемъ и перечисленіемъ этихъ столь важныхъ небесныхъ явленій.

Халдео-ассирійскіе астрологи, не будучи въ состояніи вычислить время солнечнаго затменія, внимательно слѣдили за каждымъ новолуніемъ въ ожиданіи, не произойдетъ ли это явленіе. По ученію астрологовъ солнечное затменіе служило предзнаменованіемъ счастья или несчастья (смотря по обстоятельствамъ) для страны, народа, царя и даже для частныхъ лицъ.

Китайскія лѣтописи передаютъ намъ, что болѣе, чѣмъ за 3000 лѣтъ до Р. Х., астрологія процвѣтала уже въ Небесной Имперіи. Тамъ же сохранились свѣдѣнія, что около 2160 г. до Р. Х. два китайкихъ министра небесныхъ дѣлъ Хи и Хо были казнены по повелѣнію китайскаго императора за то, что, по нерадѣнію, во время не предсказали солнечнаго затменія, которое неожиданно испугало императора и его приближенныхъ.

Едва ли, однако, можно допустить, чтобы китайцы, болѣе чѣмъ за 2000 лѣтъ до Р. Х., могли предсказывать солнечныя затменія; вѣроятнѣе всего нужно видѣть въ повѣствованіи китайскихъ лѣтописей лишь то, что оба астролога были невнимательны при наступленіи новолунія (когда только и можетъ случиться солнечное затменіе) и, не замѣтивъ во-время наступленія затменія, не могли предупредить заблаговременно своего монарха,—за что и подверглись смертной казни.

Фалесово затменіе.

Первое извѣстіе о предсказаніи солнечнаго затменія относятъ лишь ко времени Фалеса Милетскаго, жившаго въ VI в. до Р. Х., хотя и это замѣчательнѣйшее для того времени предсказаніе многіе подвергаютъ сомнѣнію. Новѣйшій ученый Эйри (Airy) въ своихъ изслѣдованіяхъ разсчиталъ назадъ солнечныя затменія и пришелъ къ тому заключенію, что затменіе Фалеса могло быть въ 584 г. до Р. Х. [9]). Утверждаютъ, что Фалесомъ было предсказано

[9]) По изслѣдованіямъ Гайнда (Hind) и Цеха Фалесово затменіе должно было произойти 28 мая 584 г. до Р. Х.

полное солнечное затменіе, которое въ дѣйствительности и произошло въ указанный имъ день, какъ разъ въ моментъ сраженія лидійцевъ съ мидянами [10]). Вѣроятнѣе всего предположить, что Фалесъ для своего предсказанія пользовался цикломъ возвращенія солнечныхъ затменій, какъ, напримѣръ, пользовались халдеи своимъ саросомъ для предсказанія лунныхъ затменій, но въ такомъ случаѣ онъ могъ предсказать лишь годъ затменія и ужъ никакъ не могъ указать дѣйствительной фазы этого затменія для мѣста войны между двумя указанными народами. Поэтому, не слѣдуетъ, какъ это обыкновенно принято, слишкомъ восторгаться астрономическими познаніями Фалеса и превозносить чудеса древней астрономіи.

Значеніе для астрономіи древнихъ затменій.

Древнія извѣстія о затменіяхъ солнца и луны, если можетъ быть доказана ихъ подлинность, имѣютъ и теперь весьма важное значеніе для новѣйшей астрономіи, такъ какъ они позволяютъ вычислить и провѣрить поправки въ неравенствахъ движенія луны.

Сравнительная рѣдкость полнаго солнечнаго затменія, его необычайность, тотъ страхъ и ужасъ, какой наводило это явленіе на древнѣйшаго человѣка, — все это было причиною, почему оно съ самыхъ древнихъ временъ было особенно внимательно наблюдаемо, и почему къ нему астрологи древности относились съ особымъ почтеніемъ. Вѣра людей, что затменіе солнца вліяетъ на ихъ судьбу и имѣетъ связь съ земною ихъ жизнью, еще болѣе убѣждала древнихъ наблюдателей въ важности небеснаго событія, и это обстоятельство, главнымъ образомъ, и заставляло жрецовъ тщательно записывать затменія въ свои книги.

Измѣреніе времени.

7. Измѣреніе времени представлялось дѣломъ весьма важнымъ и въ древнѣйшую эпоху астрономическихъ наблюденій; по крайней мѣрѣ, попытки измѣренія времени столь же древни, какъ и первыя звѣздныя наблюденія.

Такъ какъ время измѣряется движеніемъ какого-либо свѣтила, то отъ точности наблюденія за этимъ свѣтиломъ зависѣла и точность измѣренія времени.

Продолжительность дня или сутокъ легко, конечно, могла быть вычислена и установлена наблюденіемъ восхода или захода какой-либо звѣзды или солнца — что не требовало особаго искусства; но опредѣленіе продолжительности года представляетъ, какъ уже было упомянуто, несравненно большія трудности и требуетъ болѣе про-

---

[10]) По свидѣтельству римскаго писателя Плинія сраженіе произошло въ 4 году 48 Олимпіады, т. е. въ 564 г. до Р. Х.

должительныхъ и точныхъ наблюденій. Такъ какъ движеніе луны между звѣздами и измѣненіе ея фазъ явны даже для мало опытнаго глаза и могутъ быть наблюдаемы съ меньшею трудностью, чѣмъ перемѣщеніе солнца между звѣздами, то въ древнѣйшую эпоху астрономическихъ знаній мы и видимъ попытки установить лунный годъ. Лунный годъ.

Но древнѣйшіе народы, вѣроятно, болѣе заботились объ опредѣленіи наступленія и продолжительности временъ года, чѣмъ о вычисленіи продолжительности полнаго обращенія солнца, т. е. величины года. Такъ, напримѣръ, въ странахъ, гдѣ небо необыкновенно чисто и ясно, восходъ и заходъ нѣкоторыхъ звѣздъ всегда и служилъ для обозначенія временъ года. Восхожденіе Плеядъ — было признакомъ близости зимы въ Греціи; восходъ звѣзды Сиріуса (по египетски Сотисъ), совпадавшій съ солнечнымъ восходомъ, предвѣщалъ возвышеніе водъ Нила въ Египтѣ; въ это время Сиріусу воздавали особое поклоненіе. Нѣтъ сомнѣнія, что наблюденіе восхода и захода звѣздъ, особенно наиболѣе яркихъ изъ нихъ, производилось часто съ цѣлью опредѣлить наступленіе времени года. Гезіодъ, греческій поэтъ, жившій въ IX в. до Р. Х., научаетъ поселянина, что при восхожденіи Плеядъ нужно начинать жать хлѣбъ, а при захожденіи пахать землю. Подобныя же наставленія упоминаются при именахъ Сиріуса, Арктура, Гіадъ и Оріона. Опредѣленія временъ года.

Опредѣленіе года, т. е. того періода, въ теченіе котораго солнце совершаетъ свое движеніе между звѣздами, было дѣломъ значительно труднѣйшимъ. Трудность изученія передвиженій солнца относительно звѣздъ заключалась уже въ томъ, что лежащія близъ солнца звѣзды видимы быть не могутъ, и наблюденіе ихъ возможно лишь послѣ захода солнца или же передъ его восходомъ; только путемъ продолжительнаго наблюденія такихъ звѣздъ и могло быть опредѣлено годовое перемѣщеніе солнца. Солнечный годъ.

Египтяне, приписывающіе себѣ опредѣленіе года въ 365 дней, дѣйствительно пользовались для этой цѣли восходомъ и заходомъ наиболѣе яркихъ звѣздъ; но приблизительная величина года, безъ сомнѣнія, была уже раньше извѣстна халдеямъ и вавилонянамъ. Трудно теперь категорически сказать, какъ собственно была вычислена продолжительность года. Вѣроятно также, поворотъ солнца, когда оно достигаетъ своего наибольшаго удаленія къ сѣверу или къ югу отъ экватора (моменты солнцестояній) и высота его въ полдень бываетъ наибольшая или наименьшая въ году, пред-

ставлялъ обстоятельство, наиболѣе удобное для наблюденій; по крайней мѣрѣ, Гезіодъ считалъ времена года съ точекъ поворота солнца, а также и начало различныхъ сельскихъ работъ, связанныхъ съ этими временами.

Астрологическій характеръ египет. наблюденій.

8. Опредѣленіе пути солнца у халдеевъ и египтянъ представляло одну изъ древнѣйшихъ и интереснѣйшихъ попытокъ. Религіозныя цѣли въ этихъ попыткахъ играли, конечно, далеко не послѣднюю роль, такъ какъ астрологія и у египтянъ пользовалась не меньшимъ вліяніемъ, чѣмъ у азіатскихъ народовъ. Въ одномъ изъ папирусовъ, хранящихся теперь въ Британскомъ музеѣ, открыты отрывки астрологическаго календаря, изданнаго въ царствованіе XIX династіи фараоновъ (около 1400 г. до Р. Х.) и заключающаго въ себѣ указанія на каждый день дѣйствій, отъ которыхъ должно воздержаться, такъ какъ вліяніе звѣздъ дѣлаетъ ихъ опасными или гибельными для человѣка. Такимъ образомъ и въ Египтѣ астрологія была первымъ шагомъ въ астрономіи.

На древность попытки опредѣленія солнечнаго года указываютъ, между прочимъ, и названія тѣхъ зодіакальныхъ созвѣздій, которыя лежатъ на пути видимаго движенія солнца. Каждое изъ созвѣздій зодіака издревле имѣетъ особое символическое обозначеніе или знакъ. Однако египтяне только въ позднѣйшую эпоху позаимствовали у грековъ обозначенія зодіака, до того времени названія созвѣздій у нихъ значительно отличались отъ греческихъ, да и самое опредѣленіе ихъ было иное. Поэтому, астрономическіе памятники, относящіеся къ вѣку фараоновъ, весьма трудны для толкованія, такъ какъ сравненія звѣздъ египтянъ съ тѣми, которыя мы знаемъ, могутъ быть сдѣланы лишь въ очень рѣдкихъ случаяхъ; впрочемъ, въ послѣднее время ученымъ удалось перевести каталогъ египетскихъ планетныхъ наблюденій, точное время которыхъ, однако, и до сихъ поръ строго не установлено.

Цѣли астрологіи пріучили египтянъ собирать въ группы небесныя явленія, такъ какъ отъ совокупности или стеченія этихъ явленій зависѣлъ тотъ или иной исходъ предсказанія. Воображеніе древнихъ египтянъ, какъ узнано изъ астрологическаго календаря, приписывало каждому свѣтилу особенный характеръ, который могъ передаваться человѣку, родившемуся подъ этимъ свѣтиломъ, — что обозначало, по позднѣйшему толкованію, рожденіе человѣка или во время восхода или же во время наивысшаго (кульминаціоннаго) положенія свѣтила. Вліяніе планетъ въ этомъ отношеніи играло первенствующую роль; такъ, напримѣръ, Сатурну припи-

сывалась всегда холодная природа, Юпитеръ считался по характеру умѣреннымъ, Марсъ давалъ огненное или кровавое начало. Характеристика этой послѣдней планеты, очевидно, основывалась на сравненіи краснаго ея цвѣта съ кровью и огнемъ. Подобныя же свойства приписывались остальнымъ планетамъ и нѣкоторымъ неподвижнымъ, наиболѣе яркимъ звѣздамъ.

Древность обозначенія звѣздъ и созвѣздій.

9. Когда непривычный глазъ смотритъ на звѣздное небо, то прежде всего онъ обращаетъ вниманіе на наиболѣе яркія звѣзды, а затѣмъ уже, при нѣкоторомъ навыкѣ, начинаетъ различать тѣсныя группы наиболѣе скученныхъ мелкихъ звѣздъ, какъ, напримѣръ, Плеяды; звѣзды средней величины не приковываютъ вниманія неопытнаго глаза; происходитъ это, вѣроятно, оттого, что мелкихъ звѣздъ сравнительно много, и онѣ разбросаны по всему небосклону. Отдѣльныя яркія звѣзды и очень скученныя группы называются не только у Гомера и Гезіода, но упоминаются въ еще болѣе древнія времена, какъ объ этомъ свидѣтельствуетъ книга Іова, гдѣ приведены еврейскія названія Плеядъ, Оріона, Сиріуса и Арктура.

Халдейское, египетское и греческое звѣздное небо представляютъ въ своихъ обозначеніяхъ замѣчательное сходство, бросающееся въ глаза даже при поверхностномъ знакомствѣ. Это сходство можетъ быть также указано въ созвѣздіяхъ арабскихъ и индійскихъ, особенно въ названіяхъ созвѣздій Зодіака. Но часто однѣ и тѣ же фигуры звѣздъ у разныхъ народовъ носили различное названіе. Такъ, наприм., рѣка, протекающая между звѣздами на небесномъ сводѣ, у грековъ носила названіе Эридана, у египтянъ же это созвѣздіе называлось Пиломъ.

Мнѣнія о зодіакѣ.

Трудно теперь съ опредѣленностью сказать, когда и какъ возникли названія созвѣздій. Многіе ученые полагаютъ, по крайней мѣрѣ относительно Зодіака, что названія его созвѣздій возникли приблизительно въ одну и ту же доисторическую эпоху. Такъ, напримѣръ, зодіакальное созвѣздіе „Вѣсы“, знакъ котораго (♎) въ символической формѣ представляетъ равновѣсіе, по толкованію многихъ авторитетныхъ изслѣдователей древнѣйшей науки, должно было обозначать тѣ звѣзды, которыя восходили когда-то, въ древности, весною во время *равноденствія* [11]), т. е., когда день бываетъ равенъ ночи.

Принимая, что точка весенняго равноденствія находилась нѣ-

[11]) Разъясненіе терминовъ *равноденствіе*, *солнцестояніе*, *эклиптика* — см. „Астр. инструменты“ II, **40**.

когда въ созвѣздіи Вѣсовъ (Libra) [12]) и зная ежегодное отступленіе этой точки по кругу Зодіака или, какъ принято теперь называть, по эклиптикѣ, можно вычислить, что названіе зодіакальныхъ созвѣздій произошло почти за 9 тысячъ лѣтъ до нашей эры. Хотя древность эта и поражаетъ нѣсколько наше воображеніе, но, принявъ во вниманіе, что основаніе первой династіи фараоновъ въ Египтѣ относится нѣкоторыми учеными даже почти къ 6000-му г. до Р. Х., можно допустить вѣроятность такого объясненія названій Зодіака. Нѣкоторые ученые допускаютъ иныя толкованія: по ихъ соображеніямъ, древность обозначеній Зодіака не превосходитъ 2500 лѣтъ до Р. Х.,—число, менѣе поражающее своею величиной.

Попытки согласованія луннаго и солнечн. года. 10. Вмѣстѣ съ установленіемъ продолжительности солнечнаго обращенія являются и попытки найти соотвѣтствіе между луннымъ и солнечнымъ годами. Греческими астрономами впослѣдствіи предлагались различные искусственные способы для согласованія солнечнаго и луннаго календарей. Не вдаваясь въ подробныя разсужденія объ исправленіи и улучшеніи календаря у грековъ, скажемъ лишь, что гораздо позднѣе той эпохи, о которой у насъ идетъ здѣсь рѣчь, греческій астрономъ Метонъ, 430 г. до Р. Х., а затѣмъ Калиппъ, современникъ Аристотеля, предложили весьма удачные способы для согласованія періодовъ луннаго и солнечнаго обращеній, или, иначе говоря, для уравненія луннаго и солнечнаго года.

Происхожденіе недѣли. Дѣленіе времени на періоды въ 7 дней, или на недѣли, перешло къ намъ отъ самыхъ отдаленныхъ и незапамятныхъ временъ, какъ объ этомъ свидѣтельствуетъ древнѣйшая письменность евреевъ. Обычай считать дни седмицами ведетъ свое начало, вѣроятно, съ тѣхъ поръ, когда человѣкъ впервые сталъ обращать свой взоръ къ небу и приписалъ солнцу, лунѣ и пяти блуждающимъ свѣтиламъ — планетамъ — божественныя свойства. Седмица существуетъ на всемъ Востокѣ; періодъ въ семь дней одинаково былъ принятъ у арабовъ, ассиріянъ, египтянъ, а также въ Индіи у браминовъ. Дни недѣли называются по именамъ небесныхъ тѣлъ— семи планетъ, въ число которыхъ древніе съ одинаковымъ правомъ вносили солнце и луну. Очень трудно опредѣлить, чѣмъ былъ обусловленъ порядокъ дней недѣли, и почему наименованіе дней распредѣлено въ слѣдующемъ порядкѣ планетъ: Сатурнъ, Солнце, Луна, Марсъ, Меркурій, Юпитеръ и Венера. Такъ, еврейская

---

[12]) Въ настоящее время точка весенняго равноденствія находится въ созвѣздіи Рыбъ (Pisces, греч Ἰχθύες).

суббота называлась у римлянъ днемъ Сатурна (Saturni dies, откуда англ. Saturday, фран. Samedi); воскресенье — днемъ Солнца (dies Solis, нѣмец. Sonntag, англ. Sunday); понедѣльникъ — днемъ Луны (dies Lunae, франц. Lundi, нѣмец. Montag). Точно такимъ же способомъ обозначались и остальные дни недѣли у романскихъ народовъ: вторникъ—Martis dies (франц. Mardi), среда—Mercurii dies (франц. Mercredi), четвергъ—Iovis dies (франц. Jeudi), пятница—Veneris dies (франц. Vendredi) [13].

Сообразно различнымъ обстоятельствамъ исторической жизни народовъ видоизмѣнялись иногда названія дней недѣли, но порядокъ и начало ихъ происхожденія у всѣхъ народовъ древности оставались тождественны. Поэтому недѣля, какъ справедливо замѣтилъ знаменитый Лапласъ въ своемъ очеркѣ исторіи астрономіи, есть древнѣйшій памятникъ астрономическихъ знаній народовъ.

11. Итакъ, мы указали въ общихъ чертахъ на тѣ астрономическія знанія, какія были затронуты древнѣйшей астрономіей и какія разрабатывались астрономами или, точнѣе, астрологами древняго Востока и Египта. Многое въ астрономическихъ знаніяхъ древности приходилось послѣдующимъ ученымъ постигать лишь догадками; для объясненія сохранившихся до нашего времени отрывочныхъ свѣдѣній приходилось строить лишь болѣе или менѣе вѣроятныя предположенія, но, насколько возможно было, мы старались въ этомъ бѣгломъ очеркѣ прослѣдить ходъ и постепенное развитіе астрономическихъ знаній въ зависимости отъ тѣхъ причинъ, какія ближайшимъ образомъ приводили древнѣйшаго человѣка къ изученію неба. Заключеніе.

Принявъ во вниманіе ту цѣль, ради которой древнѣйшіе астрономы изучали небо, тѣ способы и средства наблюденій, какими добывались астрономическія знанія, мы поймемъ, сколько времени, труда и терпѣнія долженъ былъ положить древній жрецъ или мореплаватель, чтобы добиться тѣхъ простыхъ, незамысловатыхъ знаній, какія теперь съ такой легкостью и простотою могутъ быть усвоены любымъ школьникомъ. Но не слѣдуетъ забывать, что самыя простыя и первыя истины всегда добываются съ громаднымъ трудомъ и усиліемъ; расчистить и создать путь для науки бываетъ несравненно труднѣе, чѣмъ потомъ итти по готовому пути съ яснымъ сознаніемъ своихъ цѣлей и задачъ, располагая улучшенными способами науки и усовершенствованными орудіями для опыта и

[13]) Французское окончаніе—di есть сокращенное латинское dies (день).

наблюденій. Ничего этого не было въ рукахъ восточнаго астронома. Способы, которыми изучалось и наблюдалось въ древнѣйшую эпоху звѣздное небо, были всѣ почти основаны на свойствахъ и силѣ единственнаго человѣческаго инструмента — глаза. Разстоянія между звѣздами, поэтому, опредѣлялись крайне грубо и неточно,—измѣренія производились на глазъ, точнаго счета времени не существовало. О звѣздныхъ разстояніяхъ въ древнѣйшихъ астрономическихъ трактатахъ говорится, что одна звѣзда находится на одинъ или на два локтя разстоянія отъ другихъ звѣздъ,—это послѣднее опредѣленіе современемъ подвергалось въ Греціи сильнымъ нападкамъ и справедливому осмѣянію. Для нахожденія звѣздъ и измѣренія разстоянія между ними древніе греки уже начали употреблять линіи, проводимыя отъ одной звѣзды къ другой, и путемъ такой сѣти пересѣкающихся линій въ достаточной степени, очевидно, могли уже оріентироваться на звѣздномъ небѣ. Однако нѣкоторыя точныя измѣренія производились даже въ глубокой древности; таковы, напримѣръ, опредѣленія высоты солнца въ полдень, т.-е. въ моментъ прохожденія его черезъ меридіанъ мѣста наблюденія. Самыя древнія измѣренія высоты солнца производились при помощи сравненія длины тѣни отъ прямого стержня (*гномонъ*) [14]) съ длиною самого стержня. Древніе китайцы за 1100 лѣтъ до Р. Х. умѣли уже опредѣлять высоту солнца посредствомъ гномона. Около этого времени. въ царствованіе императора Чунъ-Конга, китайцами было измѣрено и вычислено наклоненіе эклиптики къ небесному экватору. Наблюденія производились въ городѣ Лой-Янгѣ, современномъ Гонъ-Анфу, и сохранились въ лѣтописяхъ до настоящаго времени. Вычисленія китайцевъ заслуживаютъ полнаго довѣрія; они утверждаютъ, что во время лѣтняго солнцестоянія длина тѣни отъ гномона $=1\frac{1}{2}$ фут., въ то время какъ самый гномонъ $=8$ фут. По этимъ даннымъ есть возможность произвести повѣрку ихъ вычисленій.

Такъ постепенно и медленно, такъ несовершенно древнѣйшіе народы въ теченіе вѣковъ закладывали фундаментъ научнаго астрономическаго знанія, которое достигло истиннаго расцвѣта лишь въ Греціи, преобразивъ древнѣйшую астрономію въ самую точную и достовѣрную науку. Трудъ древнѣйшаго человѣка не остался безплоднымъ для дальнѣйшаго научнаго развитія, и часто теперь, для уразумѣнія основъ современной науки, мы принуждены бываемъ спускаться къ первоисточникамъ человѣческой мудрости.

В. Черкасъ.

[14]) См. „Астр. инструменты" II, 40.

Библiографiя.

1. *К. Фламмарiонъ.* Исторiя неба. (Перев. съ франц.) Спб. 1879.

2. *П. Гамалья.* Сокращенная исторiя астрономiи Спб. 1809. Стр. 1—134. (Первая на русскомъ языкѣ).

3. *Зеленый.* Исторiя астрономiи. Жур. Военно-учеб. заведенiй. Спб. 1844. Т. 48, № 189.

4. *К. Скачковъ.* Судьба астрономiи въ Китаѣ. Брош. in 8°. Стр. 1 — 31. (Оттискъ изъ Жур. М. Н. Пр., 1874 г., май).

5. *Б. Савичъ.* Изслѣдованiя проф. Цеха о древнихъ затменiяхъ для повѣрки хронологiи и таблицъ луны. Брош. in 8°. Стр. 1—18. (Оттискъ изъ Жур. М. Н. Пр. 1856 г., № 12).

6. *Уэвелль.* Исторiя индуктивныхъ наукъ. Т. I.

7. *Лапласъ.* Изложенiе системы мiра. (Русскiй переводъ). Т. II, кн. V. Очеркъ исторiи астрономiи. Спб. 1861.

8. *Фай.* Происхожденiя мiра. (Русскiй переводъ). Ч. I и II. Примитивная Астрономiя.

35. Греческая астрономія [1]).

Системы міра.

1. Развитіе взглядовъ на строеніе вселенной представляетъ намъ слѣдующія три научныя системы.

1) Птоломеева система, по которой земля неподвижна и всѣ наблюдаемыя движенія солнца, планетъ и звѣздъ принимаются дѣйствительными.

2) Система Коперника, по которой за неподвижный пунктъ вселенной принимается солнце и всѣ видимыя движенія разсматриваются съ точки зрѣнія движенія земли около солнца и вокругъ оси.

3) Система Ньютона, по которой всѣ истинныя движенія планетъ являются слѣдствіемъ силы всемірнаго тяготѣнія.

Эти три системы міра, послѣдовательно смѣнившія одна другую, рѣзко обособлены тѣми началами, которыя лежатъ въ ихъ основаніи.

Прежде чѣмъ говорить объ этихъ системахъ, бросимъ бѣглый взглядъ на тѣ движенія, которыя можно наблюдать на небѣ теперь, какъ и въ древнюю эпоху.

Видимыя движенія свѣтилъ.

2. Небо представляется нашему взору вогнутымъ сводомъ. Звѣзды, густо усыпавшія эту видимую сферу, кажутся неподвижными относительно другъ друга, по крайней мѣрѣ для простого глаза, если мы не прибѣгнемъ къ помощи точныхъ измѣрительныхъ приборовъ, и древніе философы, принимавшіе оптическую иллюзію небесной сферы за реальность, не безъ основанія сравнивали звѣзды съ золотыми шляпками гвоздей, наглухо вколоченныхъ въ кристальный сводъ неба. Всѣ звѣзды тихо и равномѣрно плывутъ по небу въ на-

---

[1]) Изъ публичныхъ лекцій, читанныхъ авторомъ въ собраніяхъ Нижегородскаго Кружка Любителей Физики и Астрономіи.

правленія отъ востока къ западу по кругамъ, при чемъ ни одна изъ нихъ не опережаетъ другихъ звѣздъ, и не отстаетъ отъ нихъ, завершая каждая свой кругъ ровно въ сутки (звѣздныя) [1]. Если бы каждая изъ звѣздъ оставила за собою блестящій, не исчезающій со временемъ слѣдъ, то мы увидали бы все небо исчерченнымъ свѣтлыми кругами, строго другъ другу параллельными и перпендикулярными къ той линіи, которая называется *осью міра*. Наибольшая изъ этихъ параллелей называется *небеснымъ экваторомъ* и разрѣзаетъ небесную сферу на 2 равныя части.

Если предположить, что сфера небесная дѣйствительно существуетъ, какъ нѣкоторая матеріальная поверхность, и представить себѣ далѣе, что вся эта сфера разомъ вращается вокругъ оси міра, совершая одинъ оборотъ ровно въ сутки, то получится вполнѣ правильное представленіе о видимомъ суточномъ движеніи звѣздъ.

Звѣзды, будучи неподвижными *относительно другъ друга*, могутъ быть весьма надежными мѣтками или марками при выслѣживаніи тѣхъ движеній по звѣздному небу, какими обладаютъ прочія свѣтила — солнце, луна и планеты. Послѣднія уже нельзя представить себѣ прикрѣпленными къ 1-й воображаемой сферѣ: участвуя въ общемъ суточномъ движеніи, эти свѣтила постоянно мѣняютъ положеніе между звѣздами, перемѣщаясь отъ однихъ звѣздъ къ другимъ, переходя изъ одного созвѣздія въ другое.

Солнце плавно идетъ по тому поясу созвѣздій (извѣстному подъ именемъ зодіака), который замкнутымъ кольцомъ охватываетъ все небо. Подвигаясь ежедневно съ запада на востокъ почти на 1°, оно въ годъ замыкаетъ свой путь, возвращаясь назадъ въ то созвѣздіе, изъ котораго оно вышло годъ тому назадъ. Годичный путь центра солнца извѣстенъ подъ именемъ *эклиптики*. Эклиптика наклонена подъ угломъ $23\frac{1}{2}°$ къ плоскости экватора, и точки пересѣченія этихъ круговъ извѣстны подъ именемъ точекъ *весенняго и осенняго равноденствій*: моментъ прохожденія центра солнечнаго диска черезъ первую точку есть начало весны, черезъ вторую—начало осени [2].

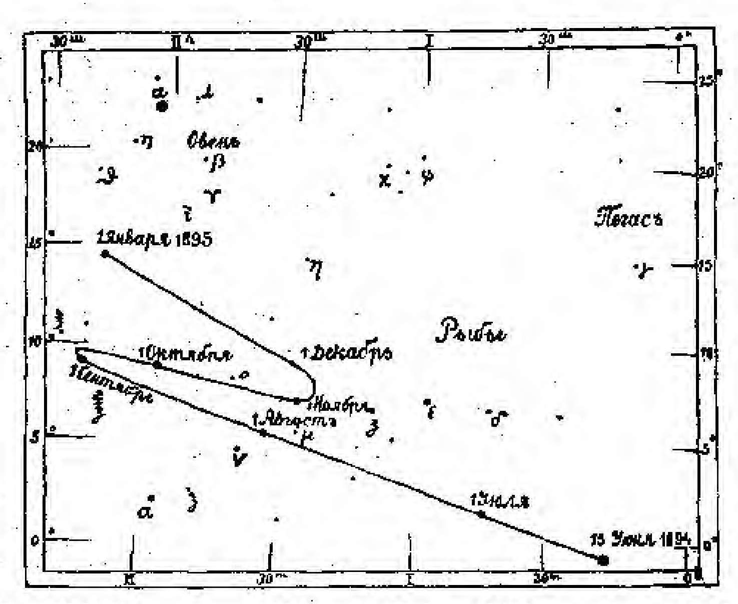
Движеніе солнца *неравномѣрно*—въ зимніе мѣсяцы оно быстрѣе, чѣмъ лѣтомъ.

Въ той же самой полосѣ зодіакальныхъ созвѣздій, въ томъ же направленіи—съ запада на востокъ—и такъ же неравномѣрно, какъ солнце, движется и луна; только скорость ея движенія

[2]) См. „Астр. инструменты" II, 40.

почти въ 13 разъ больше солнечной: 1°—суточный путь солнца—луна пробѣгаетъ менѣе, чѣмъ въ два часа; поэтому, если влѣво отъ луны (къ востоку) замѣтить какую нибудь звѣздочку въ разстояніи отъ луны на ея діаметръ, равный $^1/_2{}^0$, то черезъ часъ луна подойдетъ къ этой звѣздѣ и покроетъ ее своимъ краемъ; полный оборотъ по небу луною завершается въ $27^1/_3$ дней.

Наконецъ, невооруженный глазъ видитъ теперь, какъ и въ древности, на небесномъ сводѣ 5 довольно яркихъ точекъ, которыя, будучи похожи на звѣзды, тѣмъ не менѣе рѣзко отличаются отъ нихъ своимъ чрезвычайно страннымъ движеніемъ.



Фиг. 212. Видимый путь Марса съ 15 іюня 1894 г. по 1 янв. 1895 г.

Греки назвали эти свѣтила блуждающими—планетами [3]). Въ то время, какъ солнце и луна идутъ по звѣздному фону неуклонно съ запада на востокъ, все впередъ и впередъ, завершая одинъ оборотъ за другимъ, планеты лишь въ *среднемъ* слѣдуютъ восточному направленію, а время отъ времени (Сатурнъ черезъ $12^1/_2$ мѣсяцевъ, Юпитеръ—черезъ 13 мѣсяцевъ) онѣ останавливаются, поворачиваютъ назадъ—на западъ—(попятное движеніе) и, отойдя на нѣсколько градусовъ, снова поворачиваютъ къ востоку до

---

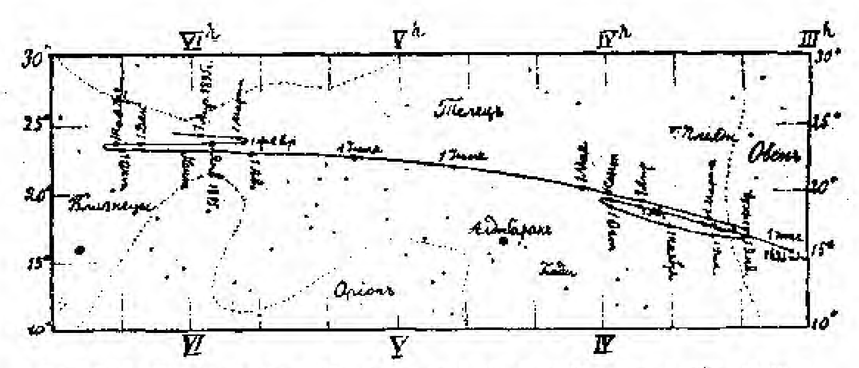
[3]) Отъ греч. πλανάω—блуждаю.

слѣдующей остановки. Эти повороты планетъ образуютъ на звѣздномъ фонѣ *петли*, подобныя тѣмъ, какія даны нами на фиг. 212 и 213.

Такъ на фиг. 212 данъ видимый путь Марса отъ 15 іюня 1894 г. до 1 января 1895 г. Изъ рисунка мы видимъ, что отъ іюня до сентября было движеніе влѣво, къ востоку; затѣмъ Марсъ остановился и пошелъ назадъ, къ западу; въ ноябрѣ произошла новая остановка и поворотъ опять на востокъ.

На фиг. 213 данъ видимый путь Юпитера почти за 2 года, отъ 1 іюня 1893 г. по 1 апр. 1895 г. Здѣсь мы имѣемъ два подобныхъ узла или петли планеты.

Вотъ общій очеркъ тѣхъ явленій, для объясненія которыхъ были послѣдовательно вырабатываемы указанныя нами три системы.



Фиг. 213. Видимый путь Юпитера съ 1 іюня 1893 г. по 1 апр. 1895 г.

3. Величайшимъ наблюдателемъ и астрономомъ древности считается Гиппархъ (II в. до Р. Х.). Онъ же—основатель геометрической теоріи движенія небесныхъ тѣлъ. Какъ наблюдатель, онъ не имѣлъ себѣ равныхъ въ древней исторіи астрономіи. Такъ, онъ составилъ первый звѣздный каталогъ, содержащій въ себѣ почти всѣ звѣзды до 4-ой величины. Этотъ каталогъ намъ показываетъ, что за 2000 лѣтъ внѣшній видъ созвѣздій не измѣнился; положеніе только 2-хъ или 3-хъ звѣздъ трудно согласовать съ нынѣшними, что можно объяснить ошибками либо Гиппарха, либо переписчиковъ Альмагеста (сочиненіе Птоломея,—см. ниже), гдѣ приведенъ этотъ каталогъ. Сравнивая свои собственныя наблюденія съ наблюденіями предшественниковъ, Гиппархъ открылъ явленіе прецессіи или предва- Гиппархъ.

[1] См. „Скорость свѣта" II, 39.

ренія равноденствій [4]): онъ замѣтилъ, что, съ теченіемъ времени, разстояніе звѣздъ отъ точки весенняго равноденствія измѣняется, такъ что центръ солнца, очерчивая при своемъ годичномъ движеніи одну и ту же линію эклиптики, проходящую черезъ однѣ и тѣ же звѣзды, пересѣкается съ небеснымъ экваторомъ въ точкахъ, *мѣняющихъ свое положеніе* на звѣздной сферѣ. Явленіе происходитъ такъ, какъ-будто ось міра со всѣми *параллелями* и экваторомъ перемѣщается въ пространствѣ, не измѣняя своего наклоненія къ эклиптикѣ ($66^1/_2{}^0$). Точка весенняго равноденствія движется навстрѣчу годичнаго перемѣщенія солнца, почему весна наступаетъ раньше завершенія полнаго (звѣзднаго) оборота солнца по небу, откуда и самое названіе явленія *предвареніемъ* равноденствій. Прецессія по Гиппарху составляетъ около 1° въ 100 лѣтъ. Число не вполнѣ точное, но самое открытіе процессіи служитъ признакомъ высокой наблюдательности Гиппарха.

Основныя начала древней системы міра. Эксцентрическая орбита и эпициклъ для объясненія лунныхъ неравенствъ.

4. Въ основу геометрической теоріи движенія небесныхъ тѣлъ Гиппархъ положилъ *начала*, заимствованныя имъ изъ философіи Аристотеля: 1) земля есть шаръ, неподвижно пребывающій въ центрѣ вселенной и 2) всѣ движенія небесныхъ тѣлъ происходятъ по кругамъ и равномѣрны.

Теорія Гиппарха получила полное развитіе въ трудахъ Птоломея. Объ этой теоріи мы узнаемъ изъ капитальнаго сочиненія Птоломея „Альмагеста", служившаго настольной справочной книгой всѣхъ астрономовъ вплоть до эпохи Коперника.

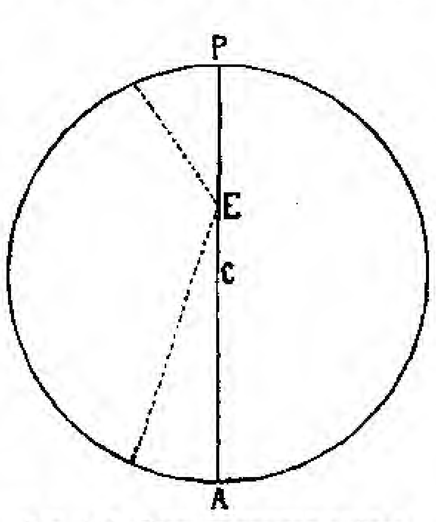
Дѣйствительно, выше указанными началами можно очень просто объяснить видимыя суточныя движенія звѣздъ: каждая изъ нихъ имѣетъ именно кругообразное и равномѣрное движеніе.

Но солнце и луна движутся не равномѣрно, какъ мы уже указали выше: участвуя въ общемъ суточномъ движеніи, они немного смѣщаются по звѣздному фону къ востоку, при чемъ эти смѣщенія за одинъ и тотъ же промежутокъ времени то больше, то меньше. Какъ *согласовать* эту неравномѣрность или „неравенство" движенія съ началами Аристотеля?

Гиппархъ, а за нимъ и его преемникъ Птоломей выходятъ изъ этихъ затрудненій слѣдующимъ образомъ: они принимаютъ, что земля находится въ нѣкоторой точкѣ E, лежащей внѣ центра того круга, по которому равномѣрно идутъ свѣтила (фиг. 214); при такихъ условіяхъ дѣйствительно одна и та же дуга будетъ изъ точки E наблюдаться подъ разными углами, такъ что равномѣрно по кругу идущее свѣтило близъ точки P (перигей) будетъ казаться идущимъ скорѣе,

близъ точки A (апогей) — медленнѣе. Такъ, для согласованія видимыхъ ускореній и замедленій луны Птоломею пришлось принять, что эксцентрицитетъ EC, т. - е. разстояніе земли отъ центра круговой орбиты, долженъ составлять $^1/_{10}$ радіуса CP.

Внимательно сличая дѣйствительныя мѣста луны съ вычисленными, полученными на основаніи только что приведенныхъ соображеній, Птоломей замѣтилъ, что полнаго совпаденія между тѣми и другими нѣтъ, и что это несогласіе не можетъ зависѣть отъ неправильнаго выбора эксцентрицитета: наблюдаемыя мѣста луны періодически колеблются около вычисленныхъ, отступая отъ нихъ на величину около 1°, и періодъ этихъ колебаній почти равенъ времени обращенія луны вокругъ земли. Это второе неравенство получило названіе *эвекціи*, и для согласованія его съ принятыми началами Птоломей вводитъ такъ называемый *эпициклъ*, т. е. принимаетъ, что по эксцентрическому кругу движется не центръ луны, а центръ другого круга O (фиг. 215), по окружности котораго и идетъ луна P, какъ спутникъ центра эпицикла. Оба движенія — луны по эпициклу и центра эпицикла по первой орбитѣ — равномѣрны. Введеніемъ этого маленькаго круга дѣйствительно удалось объяснить эвекцію, такъ что движеніе луны заразъ по двумъ кругамъ довольно удовлетворительно согласовалось съ наблюденіями того времени.



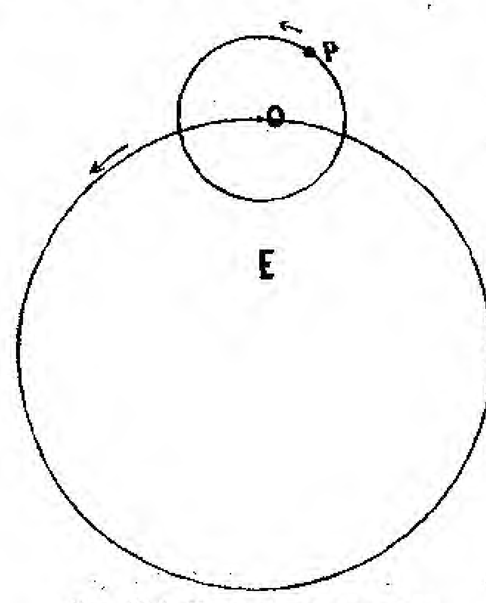
Фиг. 214. Эксцентрическая орбита.

Объясненіе планетныхъ движеній.

5. Посмотримъ теперь, какъ Гиппархъ и Птоломей согласовали тѣ же гипотезы съ запутанными петлевыми путями планетъ. Прежде всего остановимся на самой формѣ видимаго движенія планетъ. Возьмемъ Юпитера. Въ теченіе 12 лѣтъ планета, двигаясь отъ запада къ востоку, обойдетъ весь поясъ зодіака и вернется къ начальному положенію; если мы представимъ себѣ, что одновременно съ Юпитеромъ и изъ одного съ нимъ пункта вышла точка, двигающаяся по зодіаку равномѣрно, также отъ запада къ востоку со среднею скоростью планеты, то она одновременно съ

Юпитеромъ вернется къ начальному положенію. Юпитеръ будетъ періодически колебаться около этой точки на подобіе маятника: въ нѣкоторой части своего пути начнетъ ускоряться, убѣжитъ отъ нея впередъ, къ востоку, потомъ остановится, повернетъ назадъ, встрѣтится и разойдется съ воображаемой точкой, затѣмъ опять остановится, чтобы, измѣнивъ направленіе своего движенія, вновь догнать и перегнать равномѣрно движущуюся точку.

Періодъ полнаго колебанія составитъ *около* 13 мѣсяцевъ, и во время своего цѣлаго оборота Юпитеръ сдѣлаетъ около 11 такихъ качаній (см. фиг. 213).



Фиг. 215. Движеніе по эпициклу.

Чтобы согласовать подобныя колебанія планетъ съ принципомъ равномѣрности и кругообразности движеній, Гиппархъ и Птоломей обратились къ тѣмъ же эксцентричнымъ кругамъ и эпицикламъ, которые помогли объяснить неравенства луннаго движенія. Только пришлось здѣсь придать эпицикламъ уже значительные размѣры, чтобы получить не простыя замедленія въ наблюдаемыхъ движеніяхъ, а остановки и повороты планетъ назадъ. Такимъ образомъ въ Птоломеевой системѣ земля помѣщается въ точкѣ E — внѣ центра нѣкотораго круга; по окружности этого круга идетъ равномѣрно O — центръ другого круга и, наконецъ, по окружности послѣдняго уже движется сама планета P (фиг. 215).

Выбравъ соотвѣтствующіе размѣры большого круга, эпицикла и величины скоростей, дѣйствительно можно достигнуть того, что для наблюдателя, предполагаемаго въ точкѣ E, обращеніе точки P представится въ видѣ колебательнаго движенія съ такими же остановками и поворотами назадъ, какіе и на самомъ дѣлѣ наблюдаются въ движеніи планетъ.

Конечно, еслибы Птоломей и Гиппархъ имѣли своею задачею просто общее истолкованіе странныхъ планетныхъ движеній, то

предложенное объясненіе могло бы считаться вполнѣ удовлетворительнымъ. Но дѣло не въ общемъ объясненіи: древніе астрономы и ихъ послѣдователи въ средніе вѣка пытаются на основаніи наблюденій подобрать такую комбинацію круговъ и скоростей движенія, чтобы *получить возможность предсказывать положенія планеты*. Своихъ воображаемыхъ круговъ они не видятъ, такъ какъ плоскости круговъ почти совпадаютъ съ тою, гдѣ находится самъ наблюдатель. Передъ ними лишь планетныя петли, которыя они должны распутать, чтобы предсказать любую изъ будущихъ петель той же планеты. Послѣ значительныхъ усилій воображенія и ряда неудачныхъ гипотезъ, наконецъ, дѣло сдѣлано: подысканы такіе размѣры круговъ, выбраны и такіе скорости для планеты и для центра эпицикла, что наблюдаемая петля сходится съ тою, какая выходитъ изъ вычисленій. Но вотъ проходитъ нѣсколько времени и двѣ планеты—созданная воображеніемъ астронома, которая идетъ заразъ по двумъ кругамъ, и та, за которой наблюдатель слѣдитъ на небѣ, — разошлись по разнымъ дорогамъ. Значитъ, разсчетъ невѣренъ. Создаются новыя размѣры круговъ, выдвигается самъ земной шаръ изъ центра орбиты, но и тутъ не лучше; двѣ планеты, временно идущія рядомъ, потомъ опять расходятся. Тогда вводится еще 3-й кругъ, т. е. пробуютъ, не будетъ ли ближе къ истинѣ, еслибы заставить тотъ эпициклъ, по которому шла планета, нести на себѣ центръ новаго круга,—второго эпицикла, по которому уже шла бы сама планета. За этимъ кругомъ вводятся 4-й, 5-й... круги. Птоломей, знаменитый творецъ теоріи эпицикловъ, утѣшаетъ себя въ своихъ трудныхъ поискахъ истины такими соображеніями: „Мы не должны отступать предъ сложностью гипотезъ, но должны, сколь можемъ, объяснять явленія... И какъ мы можемъ удивляться существованію этой сложности въ небѣ, когда мы не знаемъ ничего такого о свойствахъ неба, что дало бы намъ право предполагать въ этомъ какую-нибудь несообразность?". Эти слова великаго человѣка могли бы служить лучшимъ эпиграфомъ для всей исторіи астрономіи отъ Аристотеля до Коперника.

Послѣдующая за Птоломеемъ исторія астрономіи въ теченіе 14 вѣковъ не представляетъ ничего новаго. Слѣдуетъ отмѣтить только накопленіе наблюденій, составленіе болѣе точныхъ таблицъ и введеніе нѣкоторыхъ новыхъ пріемовъ наблюденія свѣтилъ на небѣ, которымъ наука обязана главнымъ образомъ арабамъ (Альбатегній, Абуль-Вефа и др.).

Теорія же движенія планетъ представляла собою развитіе Пто-

ломеевой теоріи эпициклов, и „Альмагестъ" Птоломея въ теченіе нѣсколькихъ вѣковъ служилъ обязательнымъ руководствомъ для всякаго астронома. Упорное стремленіе къ способамъ точнаго предсказанія планетныхъ движеній привело къ чрезвычайно сложнымъ системамъ: въ XV столѣтіи для нѣкоторыхъ планетъ насчитывалось до 79 эпициклов! Передаютъ, что одинъ изъ знатоковъ и любителей астрономіи — король Альфонсъ V Кастильскій, потерявъ голову среди подобныхъ построеній, воскликнулъ: „если бы Творецъ спросилъ моего мнѣнія, то я посовѣтовалъ бы ему сотворить міръ получше, а главное попроще!".

Запутанность и неудачи теоріи планетныхъ движеній требовали реформы тѣхъ началъ, на которыхъ онѣ возникли, и такимъ реформаторомъ явился незабвенный въ исторіи знанія Николай Коперникъ (1473—1543 гг.).

С. Щербаковъ.

36. Система Коперника.

Геліоцентрическая система.

1. По мнѣнію Коперника земля не есть неподвижный центръ небесныхъ движеній: она вращается вокругъ оси, совершая одинъ оборотъ въ сутки, и вмѣстѣ съ тѣмъ движется вокругъ солнца, унося съ собою и луну, которая движется вокругъ нея. Центромъ вселенной служитъ солнце, пребывающее неподвижно внутри также неподвижной звѣздной сферы. Вокругъ солнца вмѣстѣ съ землею и въ одномъ съ нею направленіи движутся всѣ 5 извѣстныхъ тогда планетъ [1]). Въ сочиненіи Коперника „De revolutionibus orbium coelestium", вышедшемъ въ годъ его смерти [2]) на ри-

---

[1]) Мысль, что земля движется, встрѣчается также у древнѣйшихъ философовъ; такъ, этого взгляда держались Клеанѳъ Аѳосскій, Аристархъ Самосскій и цѣлая Пиѳагорейская школа. Это мнѣніе первыхъ двухъ философовъ послужило поводомъ къ обвиненію ихъ въ богохульствѣ. Въ ученіи пиѳагорейцевъ мысль о движеніи земли выражена очень темно. Есть основаніе думать, что впервые мысль о движеніи земли зародилась у Коперника именно подъ вліяніемъ этихъ осужденныхъ и давно забытыхъ взглядовъ, высказанныхъ древними философами.

[2]) Николай Коперникъ (Nicolaus Copernicus или собств. Koppernigk) былъ сынъ купца изъ г. Торна въ зап. Пруссіи, которая составляла тогда часть Польши. Род. 19 февр. 1473 г. По смерти отца онъ съ 9-лѣтняго возраста былъ на попеченіи своего дяди по матери, Луки Ватцельроде, впослѣдствіи епископа Эрмеландскаго. Съ 1491 по 1495 г. въ Краковскомъ университетѣ изучалъ теологію, медицину, математику и астрономію, упражнялся также въ рисованіи и музыкѣ. Затѣмъ около 10 лѣтъ онъ провелъ въ Италіи, причемъ въ Болоньѣ получилъ степень доктора медицины, въ Римѣ читалъ лекціи математической астрономіи. Съ 1505 г. поселился на родинѣ,—сначала въ Гейльсбергѣ, затѣмъ въ Фрауенбургѣ, гдѣ получилъ должность каноника. Здѣсь, въ деревенской тиши, ведя скромную, мирную жизнь, онъ посвятилъ себя на служеніе наукѣ и человѣчеству (занимался врачебной практикой). Для своихъ практическихъ изслѣдованій движенія небесныхъ свѣтилъ, въ особенности

сункѣ плана солнечной системы концентрическіе круги, имѣющіе общимъ центромъ солнце, изображаютъ орбиты планетъ и земли въ слѣдующемъ порядкѣ: Меркурій, Венера, Земля, Марсъ, Юпитеръ и Сатурнъ, и, наконецъ, самый большой кругъ изображаетъ небо неподвижныхъ звѣздъ („Stellarum fixarum Sphaera immobilis"). Помѣщая въ центрѣ вселенной солнце, Коперникъ замѣчаетъ: „да и какое лучшее мѣсто мы могли бы выбрать этому свѣточу для освѣщенія столь великолѣпнаго храма".

Предвидя рѣзкія нападки на свое ученіе за полное отрицаніе принципа неподвижности земного шара, Коперникъ пытается смягчить свои выводы слѣдующимъ соображеніемъ: „Мнѣ кажется, намъ нисколько не должно быть стыдно признать, что земля, сопутствуемая луной, обращается вокругъ солнца въ компаніи съ другими планетами... И хотя всѣ эти вещи трудны, почти недоступны для пониманія и противорѣчатъ мнѣніямъ большинства, но впослѣдствіи, съ Божіею помощью, мы истолкуемъ ихъ яснѣе солнца, по крайней мѣрѣ тѣмъ, кто знакомъ съ математикой".

луны, онъ самъ устраивалъ себѣ (изъ дерева) необходимые угломѣрные снаряды. Есть указанія, что уже въ 1507 г. Коперникъ былъ убѣжденъ въ вѣрности своей системы, однако окончилъ онъ свое безсмертное произведеніе въ 1530 г., употребивъ 23 года на разработку системы во всѣхъ подробностяхъ и на доказательство истинности геліоцентрической теоріи—путемъ вычисленій и наблюденій. Но лишь черезъ 12 лѣтъ рѣшился онъ, и то по настоянію друзей, отдать въ печать этотъ плодъ трудовъ своей долголѣтней жизни. Въ своемъ посвященіи книги папѣ Павлу III, Коперникъ говоритъ, что держалъ ее у себя четырежды девять лѣтъ, какъ рекомендуетъ Горацій, и только тогда издалъ вслѣдствіе убѣжденій своего друга кардинала Шомберга. „Хотя я знаю", прибавляетъ онъ, „что мысли философа не зависятъ отъ сужденій толпы, такъ какъ онъ стремится искать истину во всѣхъ вещахъ, насколько это позволено Богомъ человѣческому разуму,—но когда я подумалъ, какъ нелѣпо могло показаться мое ученіе, я долго колебался, долженъ ли я издавать свою книгу, или не лучше ли было бы послѣдовать примѣру пиѳагорейцевъ и другихъ, которые сообщали свои ученія только путемъ преданія и друзьямъ". Во время печатанія Коперникъ заболѣлъ и умеръ 24 мая 1543 г., держа въ рукахъ только что доставленный ему первый экземпляръ книги, полное заглавіе которой: „Nicolai Copernici, Torinensis, de Revolutionibus orbium coelestium libri sex cum tabulis expeditis, Norimbergae, 1543, f—o". Послѣдующія изданія были въ Базелѣ (1566) и въ Амстердамѣ (1617). Въ 1616 г. эта книга была проклята римскою священною конгрегаціей, какъ богопротивная и еретическая, и внесена въ списокъ запрещенныхъ книгъ; въ настоящее время она сохраняется, какъ святыня, и составляетъ украшеніе нѣкоторыхъ европейскихъ книгохранилищъ, которыя имѣютъ счастіе обладать экземплярами ея первыхъ изданій. *Л. С.*



Коперникъ (Nicolaus Copernicus)
1473 – 1543

2. По Копернику стоянія и попятныя движенія планетъ наблюдаются нами только вслѣдствіе того, что мы смотримъ на планеты съ непрерывно движущейся земли, такъ что, если бы наблюдатель помѣстился гдѣ-нибудь въ неподвижной точкѣ пространства, напримѣръ, на солнцѣ, то планеты представились бы безостановочно идущими на востокъ.

Чтобы выяснить этотъ чрезвычайно важный пунктъ Коперниковой системы, обратимся къ одному простому опыту, который, какъ аналогія, приведетъ насъ къ толкованіямъ Коперника.

Колебательныя движенія планетъ, какъ слѣдствія движенія самого наблюдателя.

Представьте себѣ, что передъ вами на столѣ, находящемся на нѣкоторомъ разстояніи отъ стѣны, стоитъ лампа, пламя которой приходится почти на одномъ уровнѣ съ вашимъ глазомъ. Пусть прямо за лампой, на противоположной стѣнѣ, виситъ портретъ, на фонѣ котораго рисуется самая лампа, а нѣсколько вправо — каминъ, — влѣво — дверь, ведущая въ сосѣднюю комнату. Отклонитесь, теперь, нѣсколько *влѣво* — лампа сойдетъ съ картины, какъ бы перемѣстившись *вправо*, въ сторону камина; если же вы отклонитесь *вправо* — лампа будетъ рисоваться на фонѣ стѣны уже *влѣво* отъ картины, ближе къ двери. Такія *видимыя* перемѣщенія неподвижнаго предмета, зависящія отъ движенія самого наблюдателя, называются *параллактическими*. Конечно, вмѣсто стѣны въ качествѣ фона мы могли бы взять группы сколь угодно отдаленныхъ предметовъ — далекую колокольню, лѣсъ, звѣзды или видимый небесный сводъ и т. п. Если же обойдете по полу кругъ, то вамъ будетъ казаться, что та же неподвижная лампа опишетъ на фонѣ стѣны или прямую линію или эллипсъ, — то или другое въ зависимости отъ высоты лампы. Заставьте теперь какое-нибудь другое лицо медленно обносить лампу кругомъ комнаты около стѣны, а сами обойдите нѣсколько разъ по кругу, наблюдая за видимымъ движеніемъ лампы по стѣнѣ, — тогда, вслѣдствіе сложенія дѣйствительнаго непрерывнаго движенія лампы и указаннаго выше видимаго движенія по эллипсамъ (параллактическаго движенія), зависящаго отъ вашего собственнаго перемѣщенія по кругу, — вамъ будетъ казаться, что лампа чертитъ на стѣнѣ узлы или петли, подобные планетнымъ узламъ.

Перенесемся теперь мысленно въ межпланетное пространство, въ систему Коперника. Тамъ земля движется по кругу, замыкая его въ годичный періодъ времени; тамъ же движутся по кругамъ, въ одномъ съ нею направленіи, и планеты, рисующіяся намъ на фонѣ отдаленной звѣздной сферы. Совершенно такимъ же обра-

зомъ, какъ въ выше разобранномъ нами опытѣ, совмѣстное движеніе наблюдателя съ землей и планетъ производитъ петлевыя движенія послѣднихъ. Фазы петлевыхъ движеній съ одной стороны и положенія земли и планетъ на ихъ орбитахъ съ другой— находятся въ строгомъ соотвѣтствіи другъ съ другомъ: каждый разъ, когда земля пробѣгаетъ ту часть своей орбиты, которая лежитъ между планетой и центромъ движенія — солнцемъ, планета кажется идущею попятно и средина попятнаго движенія застаетъ землю въ противостояніи, т. е. на линіи *между солнцемъ и планетой*, что, какъ не трудно видѣть, вполнѣ согласно съ геометрическими условіями образованія петель. Такъ на фиг. 212, гдѣ дана часть видимаго пути Марса, мы замѣтимъ, что попятное движеніе планеты продолжалось сентябрь, октябрь и часть ноября. А противостояніе было около 8 октября и совпадаетъ съ серединою попятнаго движенія. Собственное движеніе планетъ происходитъ *отъ запада къ востоку* (справо налѣво, если стать лицомъ на югъ), поэтому каждая слѣдующая петля ложится по пути *восточнѣе* (лѣвѣе) предыдущей (см. фиг. 213), что въ дѣйствительности всегда и наблюдается.

Полное согласіе слѣдствій, вытекающихъ изъ гипотезы движенія земли, съ наблюдаемымъ движеніемъ планетъ составляло для Коперника главное доказательство въ пользу обращенія земли и планетъ вокругъ солнца.

„Итакъ", говоритъ Коперникъ, „принявъ движенія земли, я посредствомъ прилежнаго и долгаго наблюденія, наконецъ, нашелъ, что, если сравнить движенія другихъ планетъ съ обращеніемъ земли, то не только ихъ явленія совершенно объясняются гипотезами, но и разные круги и цѣлая система ихъ такъ связываются относительно порядка и величины, что нельзя передвинуть ни одной части, не нарушая остальнего и не вводя безпорядка во всю систему".

Коперникъ отрѣшился только отъ одного начала древнихъ — неподвижности земного шара. И когда онъ исключилъ изъ видимыхъ движеній планетъ ту долю ихъ перемѣщеній, которая происходила отъ движенія наблюдателя вмѣстѣ съ землей, иными словами,—когда онъ мысленно перенесся на солнце, какъ неподвижный центръ движеній, то получилъ движенія все-таки не совмѣстимыя съ гипотезою равномѣрнаго движенія планеты по круговой орбитѣ. Поэтому Коперникъ, не будучи въ состояніи отказаться отъ двухъ другихъ началъ,—кругообразности и равномѣрности

движеній, — для примиренія наблюденій съ теоретическими выкладками, вынужденъ былъ вернуться къ построеніямъ Гиппарха и *Птоломея* т. е. удержать и эпициклы, и эксцентрическіе круги. Тѣмъ не менѣе уже одно установленіе правильнаго плана солнечной системы составляетъ колоссальный шагъ впередъ, такъ какъ вноситъ совершенно новую теоретическую точку зрѣнія и вмѣстѣ съ тѣмъ чрезвычайно упрощаетъ самыя геометрическія построенія. Кеплеръ насчитываетъ 11 движеній *Птоломеевой* системы, которыя разомъ были устранены и сдѣланы ненужными новой системой.

Распространеніе идей Коперника.

3. Коперникъ не могъ представить ясныхъ, неопровержимыхъ доказательствъ движенія земли, какими наука располагаетъ въ настоящее время. А между тѣмъ его система разрушала принципъ, цѣлыя тысячелѣтія считавшійся неоспоримой истиной и потому глубоко и прочно залегшій въ сознаніе человѣчества. Вотъ почему новое ученіе, несмотря на видимыя преимущества его передъ старыми теоріями, распространялось сначала крайне медленно. Противъ этого ученія въ XVI и XVII в. возстаютъ то какъ противъ религіозной ереси, то какъ противъ явной логической несообразности. А нѣкоторые, не отрицая возможности гипотезы движенія земли, побуждаемые внутреннимъ голосомъ протеста, все-таки становятся въ ряды противниковъ этой „странной" теоріи. Любопытно, что среди такихъ противниковъ мы встрѣчаемъ и знаменитаго астронома Регіомонтана, и даже такого великаго представителя XVII вѣка, какъ Ф. Бэконъ. Бэконъ, высказывая въ „Thema Coeli" предположеніе, что земля находится въ покоѣ, откровенно заявляетъ, что это представляется ему *болѣе правильнымъ* мнѣніемъ. Впослѣдствіи — въ 1633 году — ученіе Коперника было признано высшимъ духовнымъ судомъ католической церкви ересью и подверглось церковному проклятію, а Галилей, какъ ревностный защитникъ Коперниковой системы, передъ тѣмъ же духовнымъ судомъ долженъ былъ подписать свое позорное отреченіе [3]).

На ряду съ этими фактами, свидѣтельствующими о томъ, какъ трудно было пролагать себѣ путь новымъ взглядамъ Коперника,

---

[3]) Приводимъ выдержки изъ текста этого любопытнаго отреченія:

„Я, Галилей, на семидесятомъ году отъ рожденія, стоя на колѣнахъ передъ вами, высокопреосвященными кардиналами, генералъ-инквизиторами и имѣя передъ собою св. Евангеліе, котораго касаюсь собственными руками, съ искреннимъ сердцемъ и вѣрою... отрекаюсь, проклинаю и гнушаюсь заблужденія и ереси движенія земли. Клянусь, что впредь никогда не буду утверждать ничего такого, что могло бы возбудить противъ меня подобное подо-

мы встрѣчаемся въ исторіи того времени съ цѣлымъ рядомъ такихъ открытій и наблюденій, которыя, подрывая довѣріе къ древнимъ эллинскимъ авторитетамъ, косвенно оказали большую поддержку распространенію и утвержденію идей Коперника. Открытіе Америки и первое кругосвѣтное путешествіе показали, что мнѣніе древнихъ о размѣрахъ земного шара ошибочно: земной шаръ оказался значительно больше, чѣмъ это думали древніе [4]). На небѣ вспыхиваютъ новыя звѣзды, доказывающія ложность Аристотелевскаго положенія, что звѣзды *неизмѣнны* [5]); а изобрѣтеніе телескопа [6]), увеличившаго въ десятки разъ зоркость наблюдателя, приноситъ съ собою цѣлый потокъ ясныхъ свидѣтельствъ противъ тѣхъ же древнихъ аксіомъ: на солнцѣ—этомъ символѣ божественной чистоты древнихъ — оказываются пятна; открываются фазы Меркурія, Венеры и странныя кольца Сатурна; на лунѣ усматриваются горы и пропасти, естественно приводящія къ мысли, что это такое же тѣло, какъ сама земля. Наконецъ, что было особенно поразительно для приверженцевъ геоцентрической теоріи, открываются 4 спутника Юпитера, движущіеся около планеты, какъ около центра, и представляющіе миніатюрную, самостоятельную систему тѣлъ, подобную солнечной системѣ.

Всѣ эти открытія, быстро дѣлавшіяся извѣстными и возбуждавшія сильную сенсацію, будили мысль и, подрывая довѣріе къ древнимъ началамъ, приготовляли изслѣдователей къ спокойному, безстрастному обсужденію и принятію новыхъ началъ Коперника. А въ то время, какъ телескопъ раскрывалъ передъ изумленнымъ взоромъ человѣка эти тайны небесъ, Кеплеръ (1571 — 1631), современникъ и другъ Галилея, медленными, но вѣрными шагами шелъ по пути, намѣченному Коперникомъ.

Кеплеру человѣчество обязано рѣшеніемъ вопроса о формѣ планетныхъ движеній. Его называютъ *законодателемъ неба* [7]).

зрѣніе; а если узнаю о какомъ-нибудь еретикѣ или человѣкѣ, подозрительномъ въ ереси, то донесу о немъ святѣйшему судилищу".

Эдиктъ противъ ученія Коперника былъ отмѣненъ лишь въ 1818 г. папою Піемъ VII.

[4]) См. „Форма и разм. земли" II, 44.

[5]) См. „Строеніе міра" II, 45.

[6]) См. „Астр. инструменты" II, 40.

[7]) Іоганнъ Кеплеръ (Iohannes Kepler) родился слабымъ недоношеннымъ (семимѣсячнымъ) ребенкомъ, 27 декабря 1571 г., въ Магштадтѣ въ Виртенбергѣ. Отецъ его — грубый трактирщикъ, мать — необразованная женщина,



Кеплеръ (Johannes Kepler)
1571 — 1631

Первый законъ Кеплера.

4. Принимая движеніе земли вокругъ солнца, какъ данное, наиболѣе согласное съ наблюденіями, Кеплеръ задается вопросомъ объ истиной формѣ планетныхъ орбитъ.

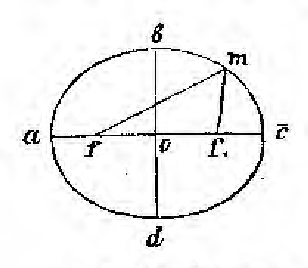
Путь всѣхъ его изысканій въ общемъ тотъ же самый, какимъ шли всѣ его предшественники: принявъ гипотетически ту или иную форму планетной орбиты, онъ составляетъ таблицы и сравниваетъ эти вычисленныя положенія планеты съ непосредственно наблюдаемыми. Несогласіе тѣхъ и другихъ положеній показываетъ ему ложность принятой гипотезы. Тогда, отбросивъ эту гипотезу, онъ принимаетъ другую, для того, чтобы и ее провѣрить такимъ же образомъ и т. д. Для такихъ пробныхъ испытаній гипотезъ Кеплеръ выбралъ Марса, какъ планету, движущуюся наиболѣе быстро изъ всѣхъ внѣшнихъ планетъ и потому наиболѣе удобную для пробы гипотезъ.

Прежде всего Кеплеръ изслѣдуетъ, нельзя ли вполнѣ точно согласовать движеніе Марса съ гипотезою *круговыхъ* орбитъ? Испытаніе круговой гипотезы отняло у него много времени и упорнаго труда: описаніе этихъ безплодныхъ блужданій въ поискахъ истины занимаетъ цѣлыхъ 39 главъ его книги „De motibus stellae Martis". Въ концѣ книги Кеплеръ говоритъ: „Эта длинная диспутація была

пять братьевъ и сестеръ вполнѣ походили на родителей, такъ что мальчикъ росъ въ самыхъ неблагопріятныхъ условіяхъ. Сначала Кеплеръ посѣщалъ мѣстную школу, затѣмъ монастырскія школы въ Адельсбергѣ и Маульброннѣ, вездѣ заявляя себя блестящими способностями. Затѣмъ онъ поступилъ въ Тюбингенскій университетъ (извѣстная протестантская духовная академія), гдѣ уже въ 1591 г. получилъ степень магистра богословія. Познакомившись (черезъ Местлина) съ ученіемъ Коперника, Кеплеръ началъ заниматься математикою и астрономіей и въ Грацѣ въ 1594 г., сдѣлавшись профессоромъ математики,— написалъ первое сочиненіе: „Prodromus dissertationum cosmographicarum, continens Mysterium Cosmographicum" (Тюбингенъ, 1586 г.). Въ 1600 г. Кеплеръ, какъ протестантъ, подвергся въ Австріи преслѣдованіямъ и долженъ былъ переселиться въ Прагу, гдѣ сдѣлался помощникомъ Тихо-Браге, а по смерти этого послѣдняго занялъ его мѣсто „императорскаго математика". Здѣсь, пользуясь прекрасными наблюденіями Тихо планеты Марсъ, Кеплеръ написалъ свое знаменитое твореніе: „Astronomia nova αἰτιλογητος, seu Physica coelestis tradita commentariis de motibus stellae Martis" (Прага, 1609 г.), гдѣ изложены 2 первые его закона. Здѣсь же онъ описалъ изобрѣтенную имъ „Кеплерову астрономическую трубу" и положилъ начало теоріи зрительныхъ трубъ въ сочиненіяхъ: „Paralipomena ad Vitellionem, quibus astronomiae pars optica traditur" (Франкфуртъ, 1604 г.) и „Dioptrice" (Аугсбургъ, 1611 г.). Въ 1612 г. Кеплеръ переселился въ Линцъ, гдѣ взялъ мѣсто въ земледѣльческомъ училищѣ и занимался пересмотромъ съёмокъ страны. Въ это же время онъ трудился надъ составленіемъ планетныхъ таблицъ, кото-

необходима, чтобы приготовить путь къ испытанію теоріи, о которой я буду говорить. Мое 1-е заблужденіе было то, что орбита планетъ есть совершенный кругъ — *вредное мнѣніе*, которое тѣмъ больше у меня отняло времени, что оно поддерживалось авторитетами всѣхъ философовъ и, очевидно, было пріятно метафизикамъ".

Такимъ образомъ Кеплеръ оставляетъ уже навсегда эту красивую „божественную" кривую, чтобы перейти къ испытанію другихъ геометрическихъ кривыхъ, и въ концѣ концовъ, останавливается на эллипсѣ.



Фиг. 216. Эллипсъ.

Эллипсъ былъ извѣстенъ еще греческимъ математикамъ. Понятіе объ этой кривой лучше всего уясняется изъ способа ея черченія. Возьмемъ гибкую, нерастяжимую нить и укрѣпимъ ея концы на листѣ бумаги въ точкахъ f и f_1; затѣмъ дадимъ карандашу, натягивающему эту нить въ точкѣ m (фиг. 216) и скользящему по ней, непрерывное движеніе; тогда остріе карандаша и вычертитъ ту замкнутую кривую, которая называется эллипсомъ. Точки f и f_1

рыя и издалъ впослѣдствіи (1627 г.) въ Ульмѣ подъ именемъ: „Tabulae Rurdolphinae, quibus astronomiae restauratio continetur". Этими знаменитыми таблицами пользовались затѣмъ астрономы въ теченіе цѣлаго столѣтія для вычисленія планетныхъ движеній. Въ Линцѣ напечатано (1619 г.) и любимое сочиненіе Кеплера: „Harmonices mundi libri V", гдѣ изложенъ 3-й законъ и подробно описывается тотъ рядъ неудачъ, черезъ который Кеплеръ долженъ былъ пройти, прежде чѣмъ поиски этого закона увѣнчались успѣхомъ. Въ 1628 г. онъ поступилъ на службу къ Валленштейну, который сдѣлалъ его профессоромъ въ Ростовскомъ университетѣ. Такъ какъ ему и здѣсь (какъ въ другихъ мѣстахъ) не платили жалованья, то онъ отправился въ Регенсбургъ, чтобы хлопотать объ уплатѣ невыплаченной пенсіи. Но трудность пути и постоянныя заботы разстроили здоровье 60-тилѣтняго старика, — онъ заболѣлъ и умеръ 15 ноября 1631 г. Всю жизнь Кеплеръ испытывалъ матеріальныя лишенія, семейныя заботы и служебныя непріятности, такъ что надудивляться его энергіи, какъ ученаго, и плодовитости, какъ писателя. Кромѣ упомянутыхъ выше, онъ оставилъ и еще много большихъ и малыхъ сочиненій. Часть многочисленныхъ рукописей Кеплера были куплены Петербургской Академіей Наукъ и хранятся сейчасъ въ библіотекѣ Пулковской обсерваторіи.

На деньги, собранныя по подпискѣ, поставленъ въ Регенсбургѣ Кеплеру простой кирпичный памятникъ, „но истинный памятникъ ему начертанъ огненными буквами на звѣздномъ небѣ, гдѣ могутъ видѣть его благодарные соотечественники, если они разумѣютъ эти буквы, и гдѣ другіе будутъ читать ихъ и тогда, когда объ самихъ этихъ соотечественникахъ, вѣроятно, не будетъ больше и рѣчи" *(Литтровъ)*. *Л. С.*

называются *фокусами*, *ac и bd—большою и малою осью, o—центромъ, $of=of_1$—эксцентрицитетомъ.*

Изъ способа черченія эллипса слѣдуетъ одно изъ главныхъ свойствъ этой кривой, а именно, что сумма разстояній любой точки m эллипса отъ фокусовъ есть величина *постоянная;* эта сумма равна большой оси (она равна также и длинѣ нити). При постоянной длинѣ нити по мѣрѣ сближенія точекъ f и f_1, т. е. по мѣрѣ уменьшенія эксцентрицитета, эллипсъ постепенно приближается по формѣ къ кругу и обращается въ него, когда f и f_1 сольются, почему на кругъ можно смотрѣть, какъ на частный видъ эллипса, котораго эксцентрицитетъ равенъ нулю.

При первомъ обращеніи къ эллиптической орбитѣ, Кеплеръ поставилъ солнце въ центрѣ эллипса. Сопоставленіе наблюдаемыхъ положеній Марса съ движеніемъ воображаемой планеты было не въ пользу этой гипотезы. Тогда Кеплеръ переноситъ солнце въ фокусъ эллипса и здѣсь нападаетъ на полное согласіе наблюденій съ теоріею. Это было первымъ торжествомъ изслѣдователя, первою наградою за его упорный трудъ. Пойдутъ ли и другія планеты по эллипсамъ? Нашъ умъ склоненъ къ обобщеніямъ: онъ ожидаетъ ихъ и удовлетворяется, когда ихъ находитъ. Однако печальный примѣръ исторіи астрономическихъ теорій заставлялъ быть очень осторожнымъ въ обобщеніяхъ: древніе вводили ложные принципы, благодаря тому, что основывали ихъ на поспѣшномъ обобщеніи. Отвѣтъ на постановленный вопросъ нужно было искать въ тѣхъ же сравненіяхъ гипотезы съ наблюденіями; Кеплеръ ставитъ въ условія эллиптическаго движенія сначала Меркурія, а потомъ и другія планеты и, наконецъ, луну, помѣщая землю въ фокусѣ лунной орбиты, и находитъ, что гипотеза эллиптической орбиты вполнѣ удовлетворительно согласуется со всѣми наблюденіями. Такимъ образомъ Кеплеръ доходитъ до 1-го закона планетныхъ движеній.

I. Планеты обращаются по эллипсамъ, въ одномъ изъ фокусовъ которыхъ находится центръ солнца (центръ земли въ случаѣ лунной орбиты). **Второй законъ.**

5. Этотъ законъ рѣшаетъ вопросъ объ истинной формѣ орбиты; онъ говоритъ также, что планеты не выходятъ изъ нѣкоторой плоскости, проходящей черезъ центръ солнца. Но *какъ* идетъ планета въ различныхъ точкахъ своего пути? Еслибы удалось найти общія правила, которымъ слѣдуетъ планета, то ускоряющая, то замедляющая свой бѣгъ по орбитѣ, тогда можно было бы, уловивъ лишь одно какое-нибудь ея положеніе, вычисленіемъ не только

слѣдить за ней, такъ сказать, по пятамъ, но и предначертать ея положеніе, насколько угодно времени впередъ. Кеплеръ опять обращается къ той же планетѣ—Марсу. Начертивъ эллипсъ, изображающій орбиту этой планеты, онъ наноситъ на немъ точки, соотвѣтствующія наблюденнымъ мѣстамъ планеты и опредѣленнымъ моментамъ времени. Оказалось, что движеніе планеты *неравномѣрно: Марсъ ускоряется, приближаясь къ солнцу, и замедляется, удаляясь отъ него.*

Путемъ того же исключенія гипотезъ, неоправдываемыхъ наблюденіями, Кеплеръ приходитъ, наконецъ, къ искомому закону, извѣстному подъ именемъ *закона площадей;* его можно формулировать слѣдующимъ образомъ.

II. Прямая линія, соединяющая центръ солнца съ какой-нибудь планетой, обращаясь вокругъ солнца съ планетой, описываетъ равныя площади въ равныя времена.

Значитъ, вмѣсто равномѣрныхъ движеній *самой планеты* было открыто равномѣрное наростаніе *площади*, описываемой линіей, соединяющей солнце съ планетой.

Первые два закона Кеплера совершенно исчерпываютъ вопросъ о томъ, какъ движется любая изъ планетъ.

Третій законъ.

6. Не будемъ говорить о тѣхъ соображеніяхъ, которыя привели Кеплера къ открытію его 3-го закона, устанавливающаго математическую зависимость между періодами обращенія и разстояніями различныхъ планетъ отъ солнца. Достаточно лишь сказать, что Кеплеръ видѣлъ въ солнечной системѣ стройное цѣлое, отдѣльныя части котораго должны быть связаны нѣкоторыми неизмѣнными численными соотношеніями; въ рядахъ чиселъ, выражающихъ времена обращенія, эксцентрицитеты, разстоянія планетъ отъ солнца, Кеплеромъ заподозрѣна была нѣкоторая таинственная зависимость, на раскрытіе которой имъ было потрачено около 17 лѣтъ. „Были въ особенности три вещи, по поводу которыхъ я упорно искалъ причинъ, почему онѣ существуютъ, именно такъ, а не иначе: это—*число, величина* и *движеніе планетъ*"— такъ говоритъ самъ Кеплеръ о своихъ думахъ. На пути этихъ изслѣдованій Кеплеръ встрѣтилъ цѣлый рядъ неудачъ, непрерывную смѣну отчаянія надеждой.

Истощивъ запасъ различныхъ численныхъ комбинацій, онъ съ досадою бросалъ свои вычисленія съ тѣмъ, чтобы черезъ нѣсколько мѣсяцевъ снова къ нимъ вернуться, ободряемый опять крѣпнущимъ убѣжденіемъ, что *искомая связь въ той или иной формѣ все-таки*

должна же существовать. Наконецъ, онъ замѣчаетъ, что квадратъ періода обращенія Юпитера, раздѣленный на квадратъ періода Сатурна, даетъ то же число, какъ кубъ средняго разстоянія [8]) Юпитера отъ солнца, раздѣленный на кубъ средняго разстоянія Сатурна. Подобная же связь оказалась между періодами обращенія и разстояніями отъ солнца прочихъ планетъ и земли. Этотъ законъ выражается обыкновенно такимъ образомъ:

III. Квадраты временъ обращенія планетъ около солнца пропорціональны кубамъ среднихъ разстояній ихъ отъ солнца.

Заканчивая описаніе своихъ изслѣдованій, поглотившихъ такъ много времени, этотъ удивительный по своей энергіи, настойчивости и геніальной изобрѣтательности человѣкъ восклицаетъ: „ничто не удерживаетъ меня! Я увлеченъ священнымъ восторгомъ! Если Ты простишь мнѣ, — я возрадуюсь, если прогнѣвишься — я безропотно перенесу это. Кости брошены: книга написана. Теперь ли прочтутъ ее, или прочтетъ потомство — мнѣ все равно. Она можетъ ждать себѣ читателя цѣлое столѣтіе, ибо и Господь 6000 лѣтъ ждалъ наблюдателя“.

Распространеніе законовъ Кеплера на другія тѣла солнечной системы.

7. Немногимъ болѣе $2\frac{1}{2}$ вѣковъ прошло съ тѣхъ поръ, какъ Кеплеръ закончилъ свои изслѣдованія. За это время область нашихъ фактическихъ свѣдѣній по астрономіи значительно расширилась благодаря телескопу. Сверхъ 5 планетъ, извѣстныхъ съ древнихъ временъ, были открыты помощью телескопа уже въ позднѣйшее время еще двѣ планеты — Уранъ и Нептунъ, движущіяся за предѣлами орбиты Сатурна; а въ полосѣ между орбитами Марса и Юпитера открытъ цѣлый рой мелкихъ планетокъ, число которыхъ теперь свыше 450. У большихъ планетъ открыты спутники — только Венера и Меркурій лишены ихъ, зато у Сатурна ихъ цѣлыхъ 8. Всѣ эти тѣла слѣдуютъ законамъ Кеплера съ тѣми небольшими поправками *(пертурбаціи)*, какія внесла въ нихъ теорія тяготѣнія и болѣе точныя наблюденія послѣдующаго времени, о чемъ мы будемъ говорить ниже.

По законамъ Кеплера движутся и кометы, и даже метеоры — тѣ мелкія крупинки вещества, которыя перехватываются на ихъ пути землею и сгораютъ въ ея атмосферѣ оставляя за собой свѣтлый слѣдъ.

Такимъ образомъ, Кеплеръ установилъ такія широкія обобщенія которымъ слѣдуютъ и массивныя небесныя тѣла и мельчайшія

---

8) То-есть большой полуоси орбиты.

частицы, то изолированно, то цѣлыми роями носящіяся въ нашей солнечной системѣ.

Скажемъ еще нѣсколько словъ о предсказаніи положенія и движенія небесныхъ тѣлъ.

Геометрія доказываетъ, что существуетъ только *единственный* эллипсъ, который можетъ пройти черезъ три данныя точки при данномъ фокусѣ. Каждый геометръ сумѣетъ начертить эллипсъ, напр., на листѣ бумаги, если назначены будутъ 3 точки, по которымъ долженъ пройти этотъ эллипсъ, и данъ его фокусъ. Если астрономъ замѣтилъ въ точности, въ какихъ пунктахъ небеснаго свода была новая комета, планета, напр., сегодня, мѣсяцъ и два мѣсяца тому назадъ, то этихъ 3-хъ наблюденныхъ *видимыхъ* мѣстъ свѣтила также вполнѣ достаточно, чтобы, пользуясь законами Кеплера, найти положеніе плоскости, въ которой лежитъ орбита свѣтила, разыскать тамъ три истинныя мѣста, соотвѣтствующія тремъ наблюденнымъ и, наконецъ, провести орбиту, которая захватитъ собою, какъ эти три мѣста, такъ и всѣ будущія и прошедшія мѣста наблюденнаго тѣла.

Конечно, *практически* мы встрѣчаемся здѣсь съ громадными затрудненіями, вслѣдствіе того, что невозможно вполнѣ точно отмѣтить мѣста, занимаемыя планетой на небесномъ сводѣ. Сверхъ того, для большихъ промежутковъ времени надо будетъ принять во вниманіе, какъ мы увидимъ, *возмущенія*. 2-й законъ Кеплера укажетъ, съ какою скоростью тѣло будетъ бѣжать въ разныхъ частяхъ орбиты; значитъ, онъ также укажетъ мѣста на найденной орбитѣ для *любого* момента.

Преемственная связь между научными теоріями.

8. Въ этихъ бѣглыхъ очеркахъ быстро промелькнули передъ нами славныя имена Аристотеля, Гиппарха, Птоломея, Коперника, Кеплера. Несмотря на различіе взглядовъ и громадные промежутки времени, раздѣляющіе этихъ людей, между ними чувствуется внутренняя связь: всѣхъ ихъ одинаково сильно занимаетъ одна и та же задача, связываетъ ихъ и самая преемственность работы, тянувшейся около 20 вѣковъ. Въ самомъ дѣлѣ, соображенія Гиппарха вызываютъ геометрическую теорію эпицикловъ Птоломея, потомъ теорія Птоломея сплетается съ системою Коперника, и, наконецъ, планъ солнечной системы Коперника служитъ основаніемъ для изслѣдованій Кеплера. Каждый изъ нихъ вводитъ въ науку новыя идеи и вмѣстѣ съ тѣмъ заимствуетъ нѣчто у своихъ предшественниковъ.

Вся эпоха до Коперника была серьезною пробой гипотезъ,

основанныхъ на принципахъ эллинской философіи. Хотя эти принципы оказались ложными, однако, нельзя не признать, что они должны были казаться и естественными и наиболѣе вѣроятными для того времени, еще бѣднаго опытомъ [9]); нисколько не удивительно, что „проба" гипотезъ затянулась на много столѣтій—движеніе свѣта слишкомъ медленно, а средства для наблюденій до изобрѣтенія зрительныхъ трубъ были очень грубы. Кто-то сказалъ, что идеи и предразсудки, пережившія многія вѣка, такъ же упорно удерживаются сознаніемъ человѣка, какъ гвоздь глубоко вколоченный и заржавѣвшій въ деревѣ. Это сравненіе по неволѣ приходитъ въ голову, когда мысленно возвращаешься къ эпохѣ Коперника и вспоминаешъ то ожесточеніе, съ какимъ нападали на послѣдователей новаго ученія. При обзорѣ исторіи астрономіи особенное вниманіе останавливаетъ на себѣ свобода творческихъ силъ Коперника, имѣвшаго достаточно мужества, чтобы отказаться отъ вѣкового предразсудка неподвижности земли. Со времени Коперника возникла новая астрономія, вскорѣ завершенная величайшимъ обобщеніемъ Ньютона.

С. Щербаковъ.

[9]) Трудно сказать, какими соображеніями руководствовались тѣ изъ философовъ древняго міра, которые предполагали движеніе земли. Существованіе такихъ взглядовъ въ древности нельзя не признать явленіемъ страннымъ, далеко опередившимъ естественный ростъ знаній.

37. Всемірное тяготѣніе.

Вопросъ о причинѣ планетныхъ движеній. Гипотезы Кеплера и Декарта.

1. Изъ предыдущаго очерка мы видѣли, что послѣ упорной работы, прошедшей черезъ десятки поколѣній, были открыты, наконецъ, истинныя формы планетныхъ движеній, ясно и опредѣленно выраженныя тремя законами Кеплера. Однако, хотя эти законы были отвѣтомъ именно на тотъ вопросъ, рѣшенія котораго искала мысль, не на этихъ положеніяхъ Кеплера завершилась исторія развитія астрономическихъ идей. Здѣсь случилось то, что постоянно бываетъ въ исторіи развитія другихъ отраслей знанія: обыкновенно наблюдается, что рѣшеніе одного вопроса возбуждаетъ цѣлую серію новыхъ.

Въ самомъ дѣлѣ, стоитъ только вдуматься въ каждое изъ трехъ положеній Кеплера, чтобы признать весь этотъ сводъ законовъ чрезвычайно загадочнымъ, страннымъ и въ частяхъ и въ цѣломъ: почему планеты идутъ по эллипсамъ и при томъ такъ, что солнце находится какъ разъ въ фокусѣ этого эллипса? Какая причина заставляетъ ихъ постоянно ускоряться въ однѣхъ частяхъ эллипса и замедляться въ другихъ? Наконецъ, при чемъ здѣсь эта странная зависимость между временами обращенія планетъ и ихъ разстояніями отъ солнца?

Мы не видимъ того канала, согнутаго эллипсомъ, по которому вынуждена вѣчно бѣжать планета, толкаемая какою-то невѣдомою силой— пространство безгранично и открыто для всякихъ движеній. Мы не находимъ никакого основанія и для того, чтобы отдаленныя планеты медленнѣе совершали свой обходъ вокругъ солнца, чѣмъ ближайшія къ нему, какъ этого требуетъ 3-й законъ Кеплера, или чтобы планета ускорялась, подходя къ солнцу, и замедлялась, удаляясь отъ него, сообразно со 2-мъ закономъ.

Такимъ образомъ, если признать, что человѣческому разуму доступно нѣчто большее, чѣмъ простое знакомство съ фактическою или внѣшнею стороною явленій, то мы должны согласиться, что законы Кеплера особенно настойчиво ставятъ на очередь новый вопросъ: *какая сила приводитъ въ движеніе весь небесный механизмъ, заставляя его итти именно по этимъ законамъ.*

Строго говоря, вопросъ о силѣ или причинѣ движенія небесныхъ тѣлъ въ зачаточномъ состояніи существовалъ уже съ древнихъ временъ.

Аристотель рѣшаетъ его слѣдующимъ образомъ. За предѣлами самой крайней (звѣздной) сферы пребываетъ божество — Вѣчный Двигатель, неустанная работа котораго состоитъ въ непрерывномъ вращеніи крайняго неба (суточное вращеніе). Прочія 7 небесъ, по одному для каждаго изъ подвижныхъ свѣтилъ, вложенныя послѣдовательно другъ въ друга, вращаются вслѣдствіе тренія другъ о друга и о первое небо.

Кеплеръ объясняетъ планетныя движенія силой, называемою имъ магнитною, истекающею изъ солнца; эта сила влечетъ планеты по эллиптическимъ орбитамъ и если бы она прекратила свое дѣйствіе, то по мнѣнію Кеплера планеты остановились бы на своихъ орбитахъ.

Съ точки зрѣнія простоты и удобопонятности значительныя преимущества передъ указанною гипотезой имѣетъ знаменитая въ свое время теорія вихрей Декарта (XVII столѣтіе), считавшая въ ряду своихъ послѣдователей извѣстныхъ математиковъ XVII вѣка (напр. Ивана Бернулли). Декартъ представляетъ себѣ, что все пространство наполнено нѣкоторою тонкою матеріей, въ которой плаваютъ и планеты съ ихъ спутниками и солнце. Вращеніе около оси центральнаго тѣла — солнца въ Коперниковой системѣ — приводитъ въ круговращательное движеніе ближайшія частицы этой среды, которыя, въ свою очередь, увлекаютъ слѣдующіе за ними слои среды, и т. д. Планеты уносятся этими вихревыми потоками и, вращаясь около осей, являются сами центрами другихъ, меньшихъ вихрей, которые служатъ причиною движенія спутниковъ вокругъ планетъ.

Эта гипотеза до нѣкоторой степени объясняетъ 3-й законъ Кеплера: чѣмъ дальше планета отъ солнца, тѣмъ время ея обращенія должно быть больше, такъ какъ отдаленные отъ солнца слои вихря должны двигаться медленнѣе ближайшихъ.

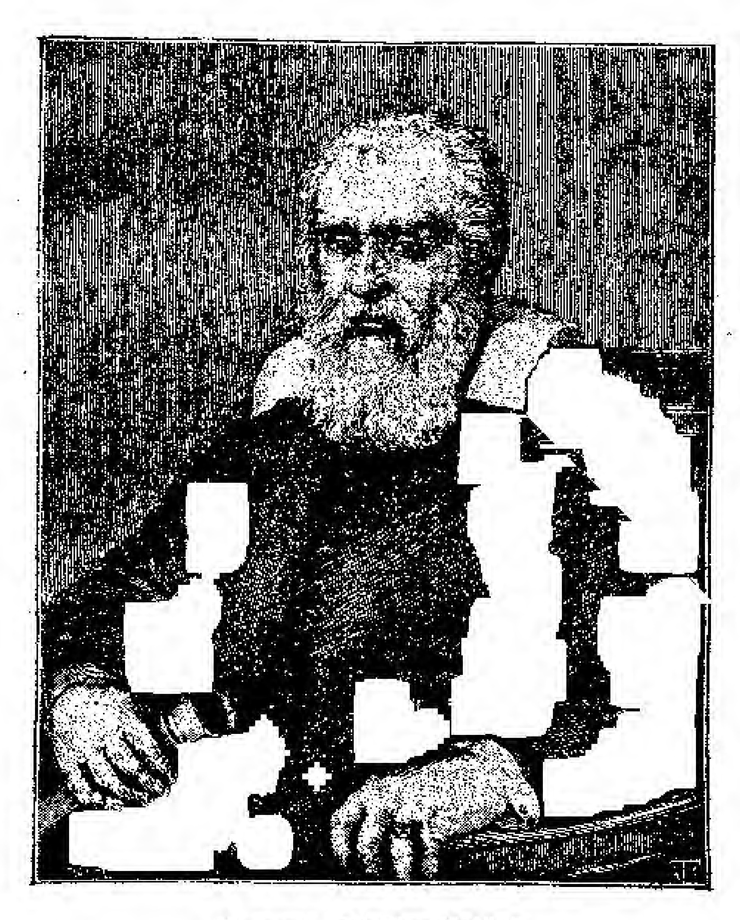
Но какъ въ исторіи развитія ученія о формѣ планетныхъ движеній критеріумомъ достовѣрности теоріи служило согласіе ея съ

наблюденіями, такъ и здѣсь повѣрка теоріи состояла въ сопоставленіи ся слѣдствій съ законами Кеплера, покоющимися также на наблюденіяхъ. Теорія вихрей Декарта была не въ силахъ объяснить всѣ обстоятельства планетныхъ движеній и потому лишь временно пользовалась почетомъ среди философовъ XVII вѣка. Со временемъ она должна была уступить мѣсто теоріи всемірнаго тяготѣнія Исаака Ньютона (Isaak Newton 1643 — 1727 гг.), которая представила удивительно простое, ясное и полное рѣшеніе всѣхъ недоумѣній и вопросовъ и открыла собою новый періодъ въ исторіи астрономическихъ знаній [1]).

Установленіе въ наукѣ теоріи Ньютона находится въ тѣсной связи съ развитіемъ началъ механики и открытіемъ общихъ законовъ движенія. Эти законы были подготовлены предшественниками Ньютона, среди которыхъ первое мѣсто принадлежитъ Галилею и Гюйгенсу.

---

[1]) Ньютонъ, родившійся въ 1643 году въ деревнѣ Вульсторпѣ въ Линкольнширѣ, былъ сынъ небогатаго землевладѣльца, умершаго вскорѣ послѣ своей женитьбы. Ньютонъ явился на свѣтъ недоношеннымъ младенцемъ и былъ долгое время слабымъ, хилымъ ребенкомъ. Съ 12-ти до 16-ти лѣтъ учился въ школѣ въ Грентамѣ и здѣсь ничѣмъ не выдавался изъ среды своихъ сверстниковъ. По возвращеніи домой, Ньютонъ началъ помогать своей матери по хозяйству, но оказался совершенно неспособнымъ къ подобнымъ занятіямъ. По настоянію дяди, замѣтившаго въ своемъ воспитанникѣ склонность къ научнымъ занятіямъ, былъ опредѣленъ въ 1660 г. въ Кембриджскій университетъ, гдѣ въ скоромъ времени обнаружились его геніальныя способности. Въ 1669 г. занялъ каѳедру профессора математики въ Кембриджѣ и оставался въ этой должности около 30 лѣтъ. Затѣмъ былъ смотрителемъ и главнымъ начальникомъ королевскаго монетнаго двора; въ 1703 году былъ избранъ президентомъ въ Royal Society и умеръ въ 1727 году въ глубокой старости, осыпанный почестями за свои открытія, доставившія ему громкую извѣстность еще при его жизни. Прахъ его покоится въ Вестминстерскомъ аббатствѣ. Вся жизнь Ньютона была посвящена научнымъ изслѣдованіямъ. Для личной жизни ему не хватало времени: онъ умеръ холостымъ. Ньютонъ, несмотря на громкую извѣстность и высокій почетъ, которымъ былъ окруженъ подъ старость, былъ простымъ, скромнымъ и сердечнымъ человѣкомъ, всегда готовымъ прійти на помощь своему ближнему. Изслѣдованія относительно законовъ тяготѣнія были начаты Ньютономъ въ 1666 г., но по неточности числовыхъ данныхъ (радіусъ земли) онъ не могъ достигнуть удовлетворительныхъ результатовъ. Вновь вернувшись къ тому же вопросу, Ньютонъ нашелъ блестящее для него рѣшеніе лишь въ 1682 г., когда, по только что законченнымъ градуснымъ измѣреніямъ Пикара, явилась возможность узнать болѣе точную величину земного радіуса. Въ 1686 г. вышла въ свѣтъ знаменитая книга Ньютона „Philosophiae naturalis principia mathematica“, въ которой, кромѣ теоріи всемірнаго тяготѣнія, были изложены нѣкоторыя его изслѣ-



Галилей (Galileo Galilei)
1564 — 1642

Изслѣдованія Галилея о движеніи тяжелыхъ тѣлъ. 1-й и 2-й законы движенія.

2. До Галилея [2]) не было правильнаго представленія о той роли, какую играетъ тяжесть въ случаѣ тѣлъ свободно падающихъ, брошенныхъ. Самая форма кривой, очерчиваемой брошеннымъ тѣломъ, не была извѣстна даже въ общихъ чертахъ. Сантбаръ, напримѣръ, (XVI столѣтіе) воображалъ, что тѣло, брошенное наклонно къ горизонту, летитъ по прямой, пока не потеряетъ всей скорости, а затѣмъ вертикально падаетъ внизъ. Галилей рѣшаетъ этотъ вопросъ слѣдующимъ образомъ: такъ какъ ничто не поддерживаетъ тѣла, послѣ того какъ оно было брошено, то, затѣмъ, на него должна дѣйствовать его собственная тяжесть, и оно должно склоняться къ землѣ *съ самаго же начала своего движенія.*

По вопросу о простѣйшемъ случаѣ свободнаго паденія тѣла— по вертикали внизъ, Галилей встрѣтилъ утвержденіе Аристотеля, что скорость падающаго тѣла пропорціональна его вѣсу. Бросая различные предметы съ высоты Пизанской башни, Галилей дока-

---

дованія по физикѣ. Имя Ньютона остается незабвеннымъ не только въ астрономіи и механикѣ: въ физикѣ онъ далъ знаменитую въ исторіи знанія теорію истеченія свѣта, сдѣлалъ нѣсколько важныхъ открытій и изслѣдованій (разложеніе свѣта на цвѣта), построилъ зеркальный телескопъ, названный его именемъ. Въ математикѣ онъ извѣстенъ, какъ основатель ученія о безконечно малыхъ величинахъ. На надгробномъ памятникѣ Ньютона красуется слѣдующая надпись: Sibi gratulentur mortales tale, tantumque existisse humani generis decus. (Портретъ Ньютона помѣщенъ въ I т. Сборника на стр. 66—67).

[2]) Галилей (Galileo Galilei), сынъ музыканта изъ Пизы, род. 18 февраля 1564 г.; дѣтство провелъ во Флоренціи; 17-ти лѣтъ поступилъ въ Пизанскій университетъ; къ этому времени уже относится открытіе имъ изохронизма качаній маятника. Въ 1589 г. Галилей получилъ мѣсто преподавателя математики въ Пизанскомъ университетѣ. Здѣсь онъ изслѣдовалъ законы паденія тѣлъ и подтвердилъ ихъ извѣстнымъ опытомъ бросанія предметовъ съ высоты Пизанской башни. Опроверженіемъ положеній Аристотеля, пользовавшагося громаднымъ авторитетомъ у ученыхъ того времени, Галилей нажилъ себѣ враговъ, такъ что долженъ былъ оставить Пизу. Однако ему вскорѣ удалось получить мѣсто профессора въ Падуанскомъ университетѣ, гдѣ онъ и оставался до 1610 года, читая лекціи съ величайшимъ успѣхомъ. Здѣсь онъ окончательно разработалъ теорію паденія тѣла, устроилъ зрительную трубу и съ ея помощью сдѣлалъ свои открытія на небѣ (см. „Астр. инструменты II, 40). Въ то же время онъ завязалъ сношенія съ другими европейскими учеными, —такъ, напримѣръ, велъ дѣятельную переписку съ Кеплеромъ. Слава великаго ученаго, которую пріобрѣлъ Галилей въ Падуѣ, побудила Тосканскаго князя Козьму II пригласить его обратно въ Пизу, гдѣ дали ему званіе перваго математика и богатое содержаніе. Но прежнія непріятныя отношенія съ профессорами и духовенствомъ теперь еще болѣе обострились, и Галилей былъ обвиненъ даже въ томъ, что своимъ ученіемъ онъ разрушаетъ догматы церкви. Съѣздивши въ Римъ въ 1611 г., онъ успѣлъ оправдаться, но не надолго: назна-

залъ, что, если исключить сопротивленіе воздуха, то скорость паденія тѣла отъ вѣса *не зависитъ*, что и *клочекъ ваты, и сколь угодно плотное и тяжелое тѣло въ безвоздушномъ пространствѣ должны падать съ одинаковыми скоростями.*

Каждое вертикально падающее тѣло идетъ *ускоряясь*. Галилей открываетъ законъ, которому слѣдуетъ при этомъ движеніи тѣло: въ 1-ю секунду отъ начала паденія тѣло проходитъ 4,9 метра, а въ каждую слѣдующую секунду на 9,8 метра болѣе, чѣмъ въ предыдущую. Всѣ эти выводы Галилея, основанные на кропотливомъ и внимательномъ изученіи природы, были лишь переходными ступенями къ тѣмъ общимъ законамъ, которые получили совершенно ясную формулировку только во 2-й половинѣ XVII столѣтія, въ трудахъ Ньютона, — въ его „Principia". Выходъ въ свѣтъ этого творенія составилъ цѣлую эпоху въ исторіи знаній [3]). Не приводя здѣсь самыхъ законовъ, которые были изложены въ томѣ I нашей книги [4]), отмѣтимъ лишь общее содержаніе каждаго изъ нихъ.

Первый законъ опредѣляетъ свойство инерціи [5]);

ченная въ 1616 г. папою особая комиссія осудила ученіе Коперника, которое Галилей открыто проповѣдовалъ, и запретила всѣ сочиненія, излагавшія это ученіе. Вторично съѣздивши въ Римъ, Галилей сумѣлъ опять на время прекратить нападки на него. Когда, въ 1623 г., папою сдѣлался Урбанъ VIII, бывшій кардиналъ Барберини, съ которымъ Галилей раньше былъ въ хорошихъ отношеніяхъ, — этотъ послѣдній опять открыто началъ защищать систему Коперника, написавъ свое знаменитое сочиненіе: „Разговоръ о двухъ величайшихъ системахъ міра — Птоломеевой и Коперниковой", гдѣ послѣдователь ученія Птоломея — Симплицій ведетъ споръ съ двумя сторонниками ученія Коперника и остается побѣжденнымъ на всѣхъ пунктахъ. Это сочиненіе возбудило бурю негодованія въ его врагахъ, особенно въ монахахъ-доминиканцахъ, которые сумѣли убѣдить папу, что подъ именемъ Симплиція (simplex — простакъ) осмѣянъ самъ папа. Тогда сочиненія Галилея и самъ авторъ отданы были на судъ инквизиціи. Въ февралѣ 1633 г. Галилей, уже 69-ти-лѣтній старикъ, прибылъ въ Римъ и послѣ многочисленныхъ допросовъ принужденъ былъ, стоя на колѣнахъ въ церкви, отречься отъ своихъ заблужденій и предать проклятію свое научное міросозерцаніе — плодъ многолѣтнихъ изслѣдованій и размышленій. Послѣ этого онъ пробылъ нѣкоторое время въ тюрьмѣ, затѣмъ остатокъ дней своихъ жилъ подъ строгимъ присмотромъ сначала въ Сіенѣ, затѣмъ въ своей виллѣ Арчетри близъ Флоренціи; наконецъ, когда въ 1637 г. Галилей ослѣпъ, ему позволили поселиться въ его домѣ въ самой Флоренціи, гдѣ онъ и умеръ отъ сердцебіенія 8 янв. 1642 г. 77-ми лѣтъ отъ роду. *Л. С.*

[3]) См. „Развитіе Ньют. теоріи" II, 38, 9.

[4]) См. „Механ. начала" I, 3, 1.

[5]) См. „Механ. начала" I, 3, 1 и 2.

Второй законъ опредѣляетъ независимость дѣйствія силъ [6];

Третій законъ опредѣляетъ равенство дѣйствія противодѣйствію [7].

Замѣтимъ, что законъ *инерціи* разрушаетъ старое заблужденіе, будто вѣчное движеніе безъ непрестаннаго дѣйствія внѣшней силы невозможно: законъ утверждаетъ обратное: одно изъ *свойствъ* матеріи состоитъ въ стремленіи вѣчно сохранять разъ полученное движеніе, если на тѣло никакія силы извнѣ не дѣйствуютъ. Установленіе этого закона, самаго важнаго въ механикѣ, встрѣтило большія затрудненія; дѣло въ томъ, что, обращаясь къ опыту, изслѣдователь постоянно встрѣчается съ одновременнымъ дѣйствіемъ нѣсколько силъ, — сопротивленія воздуха, тренія, силы тяжести, — которыя, вмѣшиваясь въ заданное тѣлу движеніе, измѣняютъ это движеніе въ такое, какое слѣдуетъ по 2-му закону.

Зависимость кривизны пути отъ начальной скорости и дѣйствующей силы. Движеніе тяжелаго тѣла, брошеннаго наклонно къ горизонту.

3. По теоріи тяготѣнія движеніе планетъ вокругъ солнца, луны вокругъ земли и т. п. обусловливается дѣйствіемъ силъ, однородныхъ съ тѣми, которыя участвуютъ въ движеніи тѣлъ тяжелыхъ. Въ дальнѣйшемъ изложеніи мы постепенно перейдемъ отъ движенія тѣлъ брошенныхъ къ движенію луны, а затѣмъ и къ движенію планетъ.

Напомнимъ сначала читателю извѣстные изъ начальной физики 2 случая движенія брошенныхъ тяжелыхъ тѣлъ.

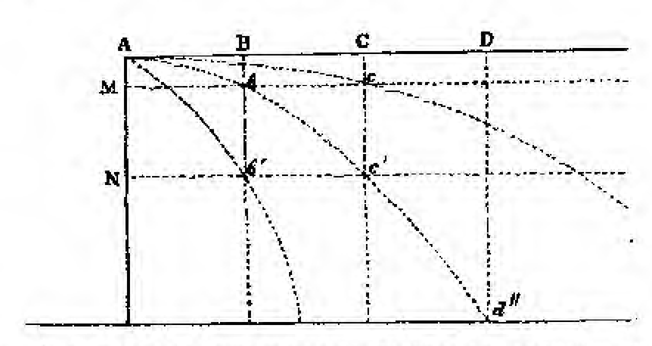
Представимъ себѣ, что въ безвоздушномъ пространствѣ нѣкоторое тѣло брошено изъ точки A (фиг. 217) въ горизонтальномъ направленіи AD съ нѣкоторою скоростію, равною линіи AB. Если бы на данное тѣло не дѣйствовала тяжесть, то оно было бы въ концѣ 1-й секунды въ точкѣ B, въ концѣ 2-й — въ C, 3-й — въ D и т. д. (1-й законъ), проходя въ каждую секунду пространства $AB = BC = CD$... 2-й законъ говоритъ, что тяжесть уведетъ тѣло съ прямой AD, постоянно уклоняя его *на величину пропорціональную силѣ тяжести* въ томъ направленіи, въ *какомъ эта сила дѣйствуетъ*. Величина этихъ уклоненій будетъ какъ разъ равна тѣмъ пространствамъ, какія тѣло прошло бы, падая вертикально, т. е. въ концѣ 1-й секунды тѣло пройдетъ подъ прямой AB на разстояніи $Bb = 4,9$ метра, въ концѣ 2-й секунды на разстояніи $= 4,9 + 14,7$ м. и т. д., такъ что, если одновременно съ брошеннымъ тѣломъ уронить изъ точки A другое, то оба тѣла въ одинъ и тотъ же моментъ будутъ

---

[6] „Механ. начала“ I, 3, 1 и 14.

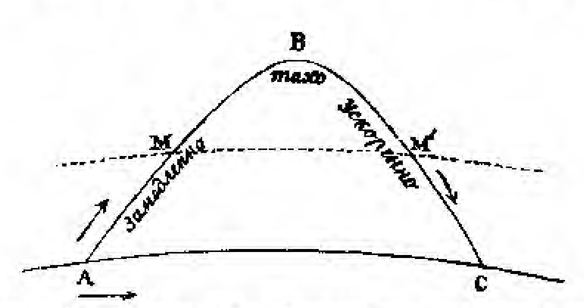
[7] „Механ. начала“ I. 3, 1 и 15.

пересѣкать одни и тѣ же уровни Mc, Nc'...... Здѣсь траекторіей тѣла будетъ кривая $Abc'd''$. Если бросить тѣло со скоростью вдвое большею, выражаемою линіею AC, то изгибъ траекторіи Ac будетъ слабѣе, такъ какъ въ концѣ 1-й секунды тѣло уже пройдетъ черезъ вертикаль Cc', а тяжесть отзоветъ его отъ прямой AD только на линію $Cc=Bb=4,9$ метра.



Фиг. 217. Движеніе горизонтально брошеннаго тяжелаго тѣла.

Обратно, — если бы почему-нибудь дѣйствіе тяжести сдѣлалось бы значительнѣе, напримѣръ въ 4 раза, такъ что всякое тѣло стало бы вѣсить въ 4 раза больше, и свободно падающее тѣло за время 1-й секунды приближалось бы на 4.4,9 или на 19,6 метр. къ землѣ, то при скорости AB тѣло пробѣжитъ въ концѣ 1-й секунды черезъ



Фиг. 218. Движеніе тяжелаго тѣла, брошеннаго наклонно къ горизонту.

точку b', находящуюся на вертикали Bb въ разстояніи $Bb'=19,6$ м. отъ прямой AB. Слѣдовательно, здѣсь траекторія будетъ болѣе круто спускаться къ землѣ.

Тѣло, брошенное наклонно къ горизонту, очертитъ нѣкоторую кривую линію и упадаетъ на землю. При этомъ, *подымаясь вверхъ, оно замедляется;* медленнѣе всего пройдетъ въ высшей точкѣ

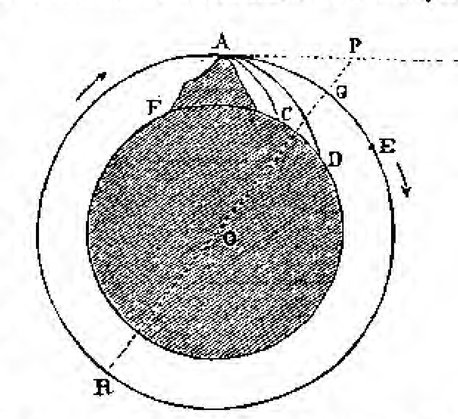
своего пути и, *спускаясь внизъ, все болѣе и болѣе ускоряется* (фиг. 218).

При движеніи въ безвоздушной средѣ ускореніе во 2-й половинѣ пути будетъ возрастать въ той же послѣдовательности, въ какой шло замедленіе въ 1-й (слѣдствіе 2-го закона механики), только въ обратномъ порядкѣ, такъ что, если взять любыя двѣ точки M и M^1, лежащія на одномъ и томъ же уровнѣ, то скорости тѣла здѣсь окажутся *равными*.

Отсюда мы можемъ заключить, что, если бы намъ удалось бросить тѣло такъ, что бы оно во время движенія ни приближалось къ землѣ, ни удалялось отъ нея, слѣдуя изгибу уровня океана, то скорость его сохранялась бы постоянной. Возможны ли такія условія, хотя бы теоретически, это мы сейчасъ увидимъ.

Тяжесть и инерція, какъ силы, производящія вѣчное движеніе луны.

4. Представимъ себѣ наблюдателя, который съ какого-нибудь возвышеннаго пункта A (фиг. 219) будетъ стрѣлять изъ орудія въ горизонтальномъ направленіи AB; устранимъ мысленно воздухъ, который могъ бы затруднять полетъ ядра, и наконецъ, предположимъ, что въ распоряженіи стрѣлка находятся всѣ возможныя скорости, отъ малыхъ до самыхъ большихъ. При нѣкоторой скорости — ядро, очертивъ кривую AC, упадетъ на землю. Если стрѣлокъ выкинетъ ядро съ большею скоростью, то, какъ это слѣдуетъ изъ второго закона движенія, кривая полета будетъ менѣе изогнута, напримѣръ AD, и ядро отлетитъ дальше. Съ дальнѣйшимъ увеличеніемъ начальной скорости движенія траекторія ядра все болѣе и болѣе будетъ выпрямляться, и ядро все дальше и дальше будетъ отлетать отъ стрѣлка. При этомъ, такъ какъ въ каждомъ изъ этихъ случаевъ ядро приближалось къ землѣ, то скорость его должна увеличиваться (см. выше § 3). Наконецъ, нашъ воображаемый стрѣлокъ, все увеличивая и увеличивая скорость полета ядра, неминуемо доведетъ ее до такой значительной величины, при которой кривизна тракторіи AE будетъ одинакова съ изгибомъ контура земного шара или лучше — уровня океана FCD (фиг. 219). Въ та-



Фиг. 219. Горизонтально брошенное тяжелое тѣло становится спутникомъ земли.

комъ случаѣ ядро *никогда не упадетъ на землю*. Въ самомъ дѣлѣ — въ намѣченной нами части пути AE разстоянie ядра отъ земного шара не мѣняется, значитъ и скорость его здѣсь остается постоянною, поэтому, проходя черезъ точку E, оно будетъ находиться совершенно въ тѣхъ же условiяхъ относительно направленiя и величины скорости, какiя имѣли мѣсто въ точкѣ A, въ моментъ вылета ядра изъ канала орудiя; слѣдовательно, ядро и дальше полетитъ по той же окружности и съ тою же скоростью и, обогнувъ весь земной шаръ, принесетъ эту скорость въ точку исхода A; условiя сдѣлаются тождественными съ начальными, поэтому ядро обѣжитъ вокругъ земли по окружности еще и еще разъ — до безконечности — и станетъ вѣчнымъ спутникомъ земли.

Вычисленiе показываетъ, что для того, чтобы сдѣлать ядро такимъ спутникомъ земли, нужно сообщить ему скорость около 8 километровъ въ секунду. Время обращенiя его вокругъ земли составитъ приблизительно 1 часъ 25 минутъ [8]).

Чтоже здѣсь служитъ причиною вѣчнаго движенiя ядра? Конечно двѣ силы: *инерцiя* ядра, постоянно стремящаяся увести его *прочь отъ земли* по прямой, касательной къ траекторiи, и *тяжесть*, заставляющая его *постоянно падать къ землѣ*; борьба этихъ силъ и изгибаетъ путь въ окружность; если отнять у ядра всю его скорость по касательной — оно упадетъ на землю, если же тяжесть прекратитъ свое дѣйствiе — оно уйдетъ по прямой въ

[8]) Покажемъ, какъ можно вычислить эту скорость. Пусть AP (фиг. 219) будетъ эта требуемая скорость; если бы тяжесть на ядро не дѣйствовала, черезъ 1 секунду отъ начала движенiя оно пришло бы изъ A въ P. Но дѣйствiе тяжести за время этой секунды отзоветъ ядро отъ прямой къ центру земли на 4,9 м, и по условiю поставитъ его какъ разъ на круговую траекторiю AEK, въ точку Q: отсюда, по извѣстному свойству касательной, найдемъ $AP^2 = PK \cdot PQ = (PQ + QK)\, PQ$.

Или, называя величину паденiя къ центру въ 1 секунду черезъ s, радiусъ траекторiи R и скорость ядра v, найдемъ слѣдующее общее выраженiе $v^2 = (s + 2R)\, s$.

Здѣсь $R = 6380$ клм.; s въ суммѣ $s + 2R$ можно отбросить, какъ величину малую сравнительно съ $2R$ ($s = 4{,}9$ м. $= 0{,}0049$ клм.), тогда $v^2 = 2Rs$. $v = \sqrt{12760 \cdot 0{,}0049} = 7{,}9$ клм.

Изъ выведенной формулы также найдемъ для s слѣдующее выраженiе, которое намъ понадобится впослѣдствiи:

$$s = \frac{v^2}{2R} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

безпредѣльное пространство; не случается ни того, ни другого только потому, что здѣсь обѣ эти силы дѣйствуютъ совмѣстно, взаимно уравновѣшиваясь.

Если принять, что инерція есть общее свойство матеріи и что тяжесть, несомнѣнно дѣйствующая на всѣхъ высотахъ, доступныхъ человѣку, простираетъ свое вліяніе до самой луны, находящейся отъ центра земли въ разстояніи 380000 клм., то возникаетъ весьма заманчивое по простотѣ предположеніе, что и движеніе самой луны около земли слагается, какъ и въ случаѣ ядра, изъ совмѣстнаго дѣйствія силы инерціи и силы тяжести.

Кеплеровы законы, какъ слѣдствія центральной силы, измѣняющейся съ разстояніемъ. Тяжесть — причина эллиптическаго движенія луны.

5. Достоинство всякой гипотезы относительно явленій природы оцѣнивается всегда сообразно съ тѣмъ, насколько точно эта гипотеза и слѣдствія, изъ нея вытекающія, согласуются съ самыми явленіями.

Движеніе планетъ и ихъ спутниковъ слѣдуетъ законамъ Кеплера, и потому именно здѣсь, въ этихъ законахъ, слѣдовало искать подтвержденія или отрицанія гипотезы, утверждающей, что луна приводится въ движеніе вслѣдствіе тяжести совершенно такъ же, какъ брошенное ядро, камень.

Такимъ образомъ эта гипотеза прежде всего требуетъ отвѣта вотъ на какой вопросъ: можетъ ли тяжесть совмѣстно съ инерціей развить *эллиптическое* (1-й законъ Кеплера) движеніе и при томъ то ускоряющееся при приближеніи къ землѣ, то замедляющееся по мѣрѣ удаленія отъ нея, какъ этого требуетъ 2-й законъ Кеплера?

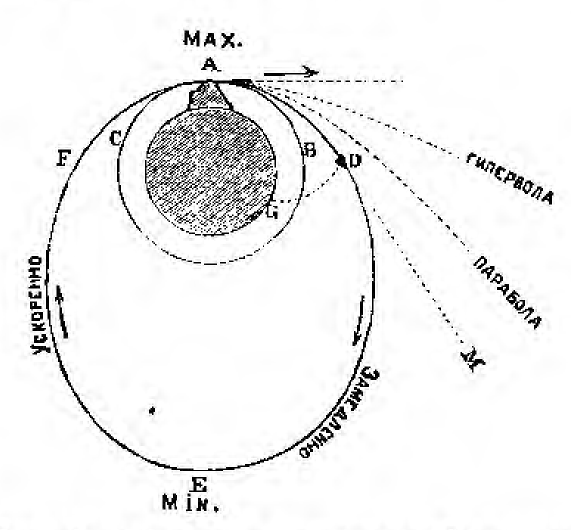
За этимъ вопросомъ, если бы онъ получилъ положительное рѣшеніе, слѣдуетъ другой: простираетъ ли тяжесть свое вліяніе дѣйствительно *до луны?*

Рѣшеніе этихъ вопросовъ дано Ньютономъ.

Чтобы быть краткимъ въ объясненіи, слѣдовало бы прибѣгнуть къ стереотипному и ясному языку математики. Къ сожалѣнію, этотъ языкъ понятенъ немногимъ, поэтому, не желая лишить очерка общедоступности, мы ограничимся общимъ анализомъ факторовъ движенія, который дастъ читателю нѣкоторое понятіе о томъ, какъ можно было добыть отвѣтъ на поставленные вопросы.

Возвратимся къ нашему стрѣлку. Представимъ себѣ, что онъ придаетъ ядру скорость, большую той, при которой ядро чертило круговую траекторію *ABC* (фиг. 220). Траекторія ядра будетъ какая-то кривая *AD*, относительно которой можно сказать пока только *одно:* она будетъ, по крайней мѣрѣ, въ своемъ началѣ,

менѣе изогнута, чѣмъ кругъ *ABC*. Ядро въ такомъ случаѣ будетъ забираться все выше и выше надъ земною поверхностью, а потому (см. выше § 3) неминуемо будетъ *терять свою скорость*. Этотъ выводъ уже приближаетъ насъ къ тому заключенію, которое далъ Ньютонъ; онъ доказалъ, что, если только сила, участвующая вмѣстѣ съ инерціей въ какомъ бы то ни было движеніи и какъ угодно измѣняющаяся, направлена *къ неподвижной точкѣ* (центръ земли въ данномъ случаѣ), то измѣненіе скорости движенія должно слѣдовать 2-му закону Кеплера, который именно и опредѣляетъ вполнѣ точно характеръ ускореній и замедленій.



Фиг. 220. Движеніе вокругъ земли горизонтально брошеннаго тяжелаго тѣла по различнымъ кривымъ 2-го порядка.

Что касается очертаній самой траекторіи ядра, то здѣсь рѣшительно ничего нельзя сказать a priori, такъ какъ форма кривой, очевидно, находится въ полной зависимости отъ того закона, которому слѣдуетъ измѣненіе дѣйствія тяжести на ядро, по мѣрѣ того, какъ оно убѣгаетъ отъ земли.

Въ самомъ дѣлѣ, представимъ себѣ, что въ нѣкоторой точкѣ *D* тяжесть совершенно оставитъ ядро, тогда его будетъ увлекать только одна инерція, которая и унесетъ ядро въ безпредѣльное пространство *по прямой DM* (фиг. 220) уже равномѣрно; если же наоборотъ, тяжесть здѣсь вдругъ необычайно возрастетъ, то траекторія ядра дастъ *крутой перегибъ DG* по направленію къ центру земли.

Ньютонъ, основываясь на двухъ законахъ движенія, математически доказалъ, что, *если тяжесть* (или другая какая нибудь центральная сила) *будетъ убывать такъ, какъ возрастаетъ квадратъ разстоянія движущагося тѣла отъ центра земли* (центра силы), *то траекторіею будетъ одна изъ кривыхъ* 2-го порядка: *эллипсъ*, болѣе или менѣе растянутый (въ частномъ же случаѣ кругъ), или безконечно растянутый эллипсъ—*парабола*, или же *гипербола*—кривая, родственная двумъ первымъ. Которая изъ этихъ трехъ кривыхъ должна имѣть мѣсто, равно какъ и степень растянутости эллипса, т. е. величина его эксцентрицитета,—это при тождествѣ прочихъ условій зависитъ отъ начальной скорости полета; такъ, въ нашемъ случаѣ при скорости въ 8 клм. получится кругъ, и чѣмъ съ большею скоростью выбросить ядро въ томъ же направленіи, тѣмъ болѣе растянутою окажется эллиптическая траекторія и, наконецъ, какъ это показываютъ вычисленія, если дать ядру скорость въ 11 клм., то траекторіей будетъ безконечно растянутый эллипсъ—парабола, и ядро, такъ сказать, совершенно заброшенное, уйдетъ навсегда изъ сферы земного притяженія, а при скоростяхъ еще большихъ, ядро пойдетъ по гиперболѣ и также никогда уже не вернется къ землѣ.

Чтобы вполнѣ покончить съ движеніемъ ядра, прослѣдимъ общій характеръ движенія его при указанномъ Ньютономъ законѣ измѣненія тяжести и при начальной скорости, большей 8 и меньшей 11 клм. Выкинутое горизонтально съ подобною скоростію оно пойдетъ по кривой $ADEF$, подымаясь постепенно надъ земною поверхностью и, значитъ, *теряя* свою скорость въ первой, или *восходящей* половинѣ своего пути ADE. Въ точкѣ E, гдѣ ядро будетъ всего дальше отъ земли, оно пройдетъ съ минимальною скоростію и, вступивъ затѣмъ во 2-ю, или *нисходящую*, половину пути EFA, пойдетъ съ возрастающею скоростію. Здѣсь нарастаніе скорости этого спускающагося къ землѣ ядра будетъ итти совершенно такъ же, какъ шло уменьшеніе скорости въ 1-й половинѣ, только въ обратномъ порядкѣ, такъ что одинаковыя скорости расположатся симметрично относительно вершины траекторіи E, какъ это имѣетъ мѣсто при всякомъ паденіи тѣла (сравни фиг. 218). Поэтому, вернувшись назадъ, въ точку A, ядро получитъ обратно всю ту скорость, которую оно потеряло въ 1-й половинѣ пути. Значитъ, оно будетъ находиться въ прежнихъ условіяхъ относительно направленія и величины скорости и, какъ это было при круговомъ движеніи, будетъ вѣчно повторять одно и то же эллиптическое движеніе.

Итакъ, тяжесть *можетъ* дать нашему спутнику движеніе по

этой „странной“ вытянутой орбитѣ съ казавшимися намъ не менѣе странными замедленіями и ускореніями, *если только она измѣняется по указанному выше закону Ньютона, и если дѣйствіе ея простирается до луны.* Но всѣ сомнѣнія въ этомъ отношеніи исчезаютъ, послѣ того какъ мы рѣшимъ слѣдующіе два независимые одинъ отъ друго вопроса.

1. Мы знаемъ, что близъ земной поверхности всякое свободно движущееся тѣло уклоняется дѣйствіемъ тяжести по направленію къ центру земли на 4,9 метровъ въ 1-ю секунду. *Предположимъ, что тяжесть измѣняется съ разстояніемъ, дѣйствительно слѣдуя закону Ньютона,* и вычислимъ, сколько составило бы подобное же уклоненіе на разстояніи луны отъ земли. Луна въ 60 разъ дальше отъ центра земли, чѣмъ любая точка земной поверхности, любой камень, ядро, которое мы можемъ бросить; значитъ, уклоненіе въ 1-ю секунду составитъ $\frac{4,9}{60 \times 60}$ метра, или около 1,4 миллиметра.

2. Теперь *оставимъ законъ Ньютона* и это вычисленіе и спросимъ себя, насколько въ дѣйствительности луна ежесекундно уклоняется къ центру земного шара. Для этого намъ нужно знать лишь время обращенія и радіусъ лунной орбиты, принимаемой здѣсь за кругъ. Вычисленіе *дастъ тоже* 1,4 млм. [9]).

Оказалось такимъ образомъ, что до луны доходитъ какъ разъ такая доля тяжести, ослабленной по закону Ньютона, какая и необходима для приведенія ея въ движеніе по орбитѣ. Случайность такого совпаденія рѣшительно невѣроятна. Значитъ, несомнѣнно, луну ведетъ по орбитѣ именно тяжесть, только уменьшенная въ 60×60, или въ 3600 разъ.

Остается еще 3-й законъ Кеплера. Этотъ законъ не даетъ рѣ-

---

9) Это вычисленіе такъ просто, что мы считаемъ умѣстнымъ его здѣсь указать.

Означая радіусъ лунной орбиты, принимаемой въ этомъ, грубо приближенномъ расчетѣ, за кругъ, — черезъ R, время обращенія ея вокругъ земли черезъ T (въ секундахъ), найдемъ, что секундная средняя скорость луны на орбитѣ $v = \frac{2\pi R}{T}$, слѣдовательно s—искомое паденіе луны въ секунду—по формулѣ (1) (см. примѣч. 8) будетъ: $s = \frac{v^2}{2R} = \frac{2\pi^2 R}{T^2}$ . . . . (2).

Полагая здѣсь радіусъ земного шара равнымъ 6380 килом., найдемъ: $R = 6380 \times 60 \times 1000 \times 1000$ миллиметровъ. T 27 дн. 7 час. 43 мин. $= 2360580$ секундъ, откуда получимъ искомыя 1,4 миллиметра.

шительно ничего новаго и является лишь математическимъ слѣдствіемъ Ньютонова закона измѣненія тяжести [10]). Если сравнить по этому закону времена обращенія и разстоянія отъ центра земли ядра-спутника и луны, то увидимъ, что 3-й законъ Кеплера подтвердится.

Вр. обр. луны вокругъ земли = 27 д. 7 ч. 43 м.
„ „ ядра-спутника . . . . 1 ч. 25 мин.
Разст. луны отъ центра земли 60 зем. рад.
„ ядра-спутника „ 1 „ „

По 3-му закону Кеплера должны имѣть:

$$\frac{(1 \text{ часъ } 25 \text{ мин.})^2}{(27 \text{ дн. } 7 \text{ ч. } 43 \text{ м.})^2}=\frac{1}{60^3}$$

Лѣвое отношеніе даетъ 0,0000047;
правое „ „ 0,0000046.

Нѣкоторая разница зависитъ отъ того, что въ вычисленія введены грубо приближенныя величины.

Замѣтимъ, что хотя 3-й законъ Кеплера, какъ не возбуждающій никакого новаго вопроса, оказался для насъ такъ мало интереснымъ, однако, въ исторіи открытій онъ имѣлъ громадное значеніе, такъ какъ, основываясь на немъ, Ньютону было легко найти,

---

[10]) Пусть R_1 и T_1, R_2 и T_2 будутъ радіусы круговыхъ орбитъ и времена обращеній двухъ спутниковъ вокругъ нѣкоторой планеты или 2-хъ планетъ вокругъ солнца, а s_1 и s_2 паденія этихъ тѣлъ къ центру движенія въ 1 секунду. По закону Ньютона сила тяжести (тяготѣнія), измѣряющаяся величиною s, обратно пропорціональна квадрату R; отсюда получаемъ равенство:

$$\frac{s_1}{s_2}=\frac{R_2^2}{R_1^2} \quad . \; . \; . \; . \; (3).$$

Съ другой стороны, по формулѣ (2) получимъ: $s_1=\frac{2\pi^2 R_1}{T_1^2}$, $s_2=\frac{2\pi^2 R_2}{T_2^2}$, откуда: $\frac{s_1}{s_2}=\frac{T_2^2 R_1}{T_1^2 R_2}$.

Сравнивая полученное равенство съ (3), находимъ: $\frac{T_2^2 R_1}{T_1^2 R_2}=\frac{R_2^2}{R_1^2}$, откуда умноженіемъ обѣихъ частей на $\frac{R_2}{R_1}$ найдемъ 3-й зак. Кеплера: $\frac{T_2^2}{T_1^2}=\frac{R_2^3}{R_1^3}$.

Слѣдуетъ замѣтить, что 3-й законъ механики (см. § 2) вводитъ въ эту формулу поправку, зависящую отъ массъ тѣлъ. Точная формула 3-го закона Кеплера должна бы имѣть такой видъ: $\frac{T_2^2\left(1+\frac{m_2}{M}\right)}{T_1^2\left(1+\frac{m_1}{M}\right)}=\frac{R_2^3}{R_1^3}$, гдѣ M, m_1 и m_2 — массы солнца, 1-ой и 2-ой планеты. Очевидно, если бы $\frac{m_1}{M}$ и $\frac{m_2}{M}$ и были безконечно малыми величинами, то Кеплерова формула была бы вполнѣ точною. Для большинства тѣлъ солнечной системы отношенія $\frac{m}{M}$ составляютъ малыя дроби.

что центральная сила, управляющая движеніями небесныхъ тѣлъ, измѣняется обратно пропорціонально квадратамъ разстояній.

Итакъ, на луну, какъ и на ядро въ нашемъ опытѣ и вообще на всякій предметъ на землѣ, дѣйствуетъ ослабленная тяжесть. Слагаясь съ инерціей, тяжесть несетъ луну по эллипсу, заставляя это тѣло двигаться быстрѣе при приближеніи къ землѣ и медленнѣе при удаленіи.

Лунный эллипсъ оказывается очень мало растянутымъ, — онъ почти кругъ. Значитъ, когда-то нѣкоторый творческій процессъ придалъ лунѣ какъ разъ такую скорость, при которой должна была получиться мало отличная отъ круга траекторія. Эта скорость, равная настоящей средней скорости движенія луны по орбитѣ, составляетъ около одного километра въ 1 секунду.

Луна не угрожаетъ намъ своимъ паденіемъ на землю, пока какая-нибудь внѣшняя сила не остановитъ луны на ея орбитѣ, подобно тому, какъ сила руки останавливаетъ летящій мечъ. Съ другой стороны, луна не можетъ и уйти прочь отъ земли: тяжесть на подобіе гибкой, эластической нити удерживаетъ ее близъ земли; и, какъ при вращеніи камня, привязаннаго на шнурокъ, камень летитъ по касательной, когда шнурокъ разрывается, такъ нѣчто подобное могло бы случиться съ нашимъ спутникомъ, если бы тяжесть вдругъ прекратила свое дѣйствіе.

Распространеніе начала Ньютона на прочія тѣла солнечной системы. Тяготѣніе.

6. Обратимся теперь къ прочимъ членамъ солнечной системы. Это во-1-хъ, сама земля и планеты, движущіяся вокругъ солнца, во-2-хъ спутники, вращающіеся вокругъ своихъ планетъ и, наконецъ, въ-3-хъ періодическія кометы, обращающіяся также вокругъ солнца.

Замѣчая, что всѣ эти тѣла слѣдуютъ законамъ Кеплера, мы можемъ распространить на нихъ предыдущіе выводы:

1. Вещество, составляющее каждое изъ этихъ тѣлъ, инертно и слѣдуетъ 2-му закону движенія (о 3-мъ законѣ см. § 9).

2. Каждое изъ нихъ подвержено дѣйствію силы, однородной съ силой тяжести, влекущей его къ своему центральному тѣлу: спутниковъ — къ планетѣ, кометы, планеты и спутниковъ — къ солнцу. Эта сила извѣстна подъ именемъ *тяготѣнія*.

И, наконецъ, 3. Сила тяготѣнія измѣняется обратно пропорціонально квадратамъ разстоянія. Напр., земля, находящаяся на разстояніи отъ солнца въ 5 разъ меньшемъ, чѣмъ Юпитеръ, тяготѣетъ къ солнцу въ $5 \times 5 = 25$ разъ значительнѣе, чѣмъ эта планета.

Равнымъ образомъ, если въ системѣ спутниковъ одной и той же планеты одинъ, напр., въ 3 раза дальше отъ планеты, чѣмъ

другой, то сила тяготѣнія перваго къ планетѣ въ 9 разъ меньше, чѣмъ второго.

Конечно и здѣсь, какъ и въ прежде разсмотрѣнныхъ случаяхъ движенія ядра, луны, необходимо, чтобы каждой планетѣ, спутнику была сообщена когда-то въ прошломъ одинъ разъ навсегда нѣкоторая скорость, такъ какъ движеніе этихъ тѣлъ также слагается изъ совмѣстнаго дѣйствія силъ инерціи и тяготѣнія.

Хотя, какъ мы это указывали въ предыдущей главѣ, были бы возможны и согласны съ установленными началами эллиптическія орбиты, сколько угодно растянутыя и даже параболы, гиперболы, однако, по какой-то странной случайности, — впрочемъ удачно объясняемой гипотезой образованія міра Лапласа [11]), — планеты и ихъ спутники очерчиваютъ эллипсы незначительно [12]) растянутые. Это заставляетъ насъ признать, что этими тѣлами получены когда-то скорости, какъ разъ сообразныя съ круговыми орбитами (отдаленный Нептунъ имѣетъ среднюю скорость по орбитѣ около 5 клм., земля — около 30 клм. въ 1 секунду).

Рѣзкій контрастъ такимъ круговымъ движеніямъ представляютъ кометы, изъ которыхъ однѣ — *періодическія кометы* — движутся вокругъ солнца по очень растянутымъ эллипсамъ, а другія — *непеіодическія*, — какъ бы случайно забѣгающія въ нашу систему изъ безпредѣльныхъ пространствъ, идутъ по параболамъ и гиперболамъ.

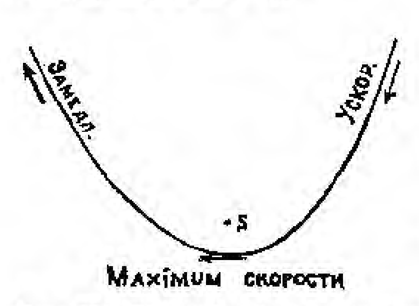
Движеніе кометъ 2-го рода чрезвычайно любопытно и служитъ удачною иллюстраціею началъ небесной механики: вступая въ солнечную систему, онѣ идутъ по орбитѣ очень медленно — скорость ихъ исчисляется всего какими-нибудь саженями въ секунду; потомъ, по мѣрѣ приближенія къ солнцу, такъ сказать, *падая* на него, онѣ идутъ ускореннымъ маршемъ и развиваютъ въ наиближайшемъ разстояніи отъ солнца s — въ перигеліи — громадную скорость, измѣряемую иногда сотнями верстъ въ секунду (фиг. 221). Обогнувъ солнце, онѣ, такъ сказать, выбрасываются этой скоростью на ту же высоту надъ солнцемъ, съ которой упали на него. Подымаясь, онѣ, конечно, теряютъ постепенно перигельную скорость и, выходя за предѣлы нашей системы, идутъ такимъ же тихимъ шагомъ, какимъ въ нее вступали.

---

[11]) См. „Происх. міра" II, 47.

[12]) Наибольшій эксцентрицитетъ принадлежитъ Меркурію: онъ равенъ 0.2, т. е. $of = \frac{1}{5} ao$ (фиг. 216).

Вышеприведенныя три начала чрезвычайно просты и первыя два изъ нихъ проявляются при каждомъ движеніи тѣла, доступнаго непосредственному опыту. Третье начало, правда, ускользаетъ отъ обычнаго наблюдателя: горный житель, спускаясь въ долину, не замѣчаетъ, что его ноша стала тяжеле; но это измѣненіе тяжести съ высотою не ускользаетъ отъ тонкаго наблюдателя, изслѣдующаго напряженіе тяжести или тяготѣнія къ землѣ, напр., съ помощью маятника [13]).



Фиг. 221. Движеніе кометы вокругъ солнца по параболѣ.

Исходя изъ этихъ началъ, мы выведемъ законы Кеплера, какъ ихъ математическія слѣдствія. Значитъ и самыя движенія небесныхъ тѣлъ, казавшіяся сначала такими странными и загадочными, низводятся на степень простыхъ механическихъ явленій.

Намъ остается еще разсмотрѣть нѣкоторыя подробности относительно способа дѣйствія силы тяготѣнія и тѣ важныя слѣдствія, къ которымъ привело Ньютона всестороннее изученіе этой силы.

Пропорціональность силы тяготѣнія массамъ. Способъ опредѣленія массъ небесныхъ тѣлъ.

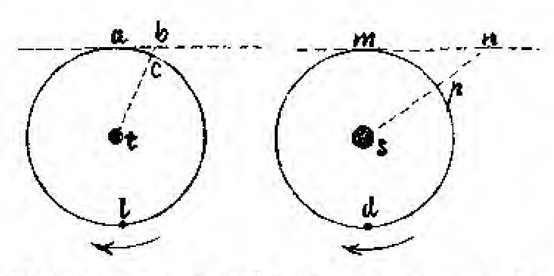
7. Вокругъ Сатурна, 6-й планеты по счету отъ солнца, движется 8 спутниковъ. Четвертый изъ нихъ, по имени Діона, находится отъ центра Сатурна приблизительно на томъ же среднемъ разстояніи, на какомъ луна отъ центра земли, такъ что путь этого спутника почти тождественъ съ орбитой луны. Однако въ движеніи луны и Діоны существуетъ одно весьма любопытное различіе: луна обходитъ землю приблизительно въ $27^1/_3$ сутокъ, а Діона обѣгаетъ свою планету только въ $2^3/_4$ сутокъ, или почти въ 10 разъ скорѣе. Судя по этой разницѣ во временахъ обращенія, средняя скорость движенія Діоны по ея орбитѣ въ 10 разъ значительнѣе скорости луны; значитъ, и въ каждую секунду Діона приближается силой тяготѣнія къ Сатурну на большее протяженіе, чѣмъ луна къ землѣ: Діона падаетъ на $np = 140$ мм. [14]), а луна на bc (фиг. 222), что составляетъ, какъ мы знаемъ, только 1,4 мм. И тамъ, и здѣсь дѣйствуетъ тяготѣніе, но, очевидно, различно. Отчего эта разница? Не отъ разстоянія, потому что и Діона и луна находится въ рав-

---

[13]) См. „Форма земли“ II, 44.

[14]) Вычисленіе можно сдѣлать по формуламъ (1) или (2) §§ 4 и 5.

ныхъ разстояніяхъ отъ своихъ планетъ; нельзя объяснить это и различіемъ въ массѣ, т.-е. въ количествѣ вещества, составляющаго Діону и луну, такъ какъ характеръ движенія не зависитъ, какъ мы уже говорили, отъ массы движущагося тѣла: легкій клочекъ ваты, дробинка и массивное пушечное ядро въ безвоздушномъ пространствѣ имѣютъ тождественныя движенія при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ. Очевидно, что это *самъ Сатурнъ* почему-то клонитъ къ себѣ спутника въ 100 разъ (140 мм.: 1,4 мм. = = 100) сильнѣе, чѣмъ земля. Подобную разницу въ дѣйствіи центровъ тяготѣнія Ньютонъ приписалъ *различію массъ* [15]) (количества вещества), заключающагося въ самыхъ этихъ центрахъ: *тяготѣніе пропорціонально массѣ* — вотъ краткая формула Ньютона, которая ведетъ къ объясненію указаннаго явленія.



Фиг. 222. Орбиты луны и Діоны, 4-го спутника Сатурна.

Принявъ это положеніе Ньютона, найдемъ, что масса Сатурна въ 100 разъ больше массы земли,—иными словами, изъ вещества, составляющаго Сатурнъ, можно было бы слѣпить сто шаровъ, равныхъ по плотности и объему землѣ. Если бы земля, сохраняя свой настоящій объемъ, вмѣщала въ себѣ всю массу Сатурна, то всякое вертикально падающее тѣло проходило бы въ 1-ю секунду отъ начала паденія не 4,9 м., а 490 метр., и человѣкъ, вѣсящій 3 пуда, поставленный на такую землю, вѣсилъ бы 300 пудовъ, такъ что былъ бы, вѣроятно, раздавленъ собственною тяжестью.

Конечно, для введенія въ науку указаннаго положенія одной простой вѣроятности еще слишкомъ мало: требуется точная опытная провѣрка. Подобныя провѣрки, закрѣпившія это положеніе въ наукѣ, были выполнены уже послѣ Ньютона Кавендишемъ (Cavendish), Байли (Bailly), Бесселемъ (Bessel) и многими другими. Опыты заключались въ томъ, что опредѣлялась величина притяженія, ока-

---

15) См. „Механ. начала" I, 3, 5,11.

зываемаго другъ на друга различными массами и на различныхъ разстояніяхъ. Бессель для своихъ опытовъ бралъ тѣла не только теллурическаго происхожденія, но и космическаго (аэролиты).

Такимъ образомъ, положеніе Ньютона о пропорціональности силы тяготѣнія массамъ также имѣетъ прочную, на опытѣ основанную устойчивость, и исключительно этимъ положеніемъ пользуются въ астрономіи при вычисленіи массъ и плотностей небесныхъ тѣлъ. Если бы около планеты не оказалось спутника, столь же отъ нея удаленнаго, какъ луна отъ земли, то при „взвѣшиваніи“ планеты слѣдовало бы принять во вниманіе различіе разстояній, припомнивъ законъ измѣненія силы тяготѣнія съ разстояніемъ. Напримѣръ, если паденіе спутника въ 1 секунду = 7 млм., а разстояніе его отъ планеты въ 2 раза больше радіуса лунной орбиты, то заключимъ на основаніи закона тяготѣнія, что, если бы его приблизить къ планетѣ на то разстояніе, на какомъ находится луна отъ земли, секундное уклоненіе возрасло бы въ 2 × 2 раза и составило бы 28 млм. Значитъ, масса планеты 28 : 1,4 = 20 массамъ земли. Подобнымъ же образомъ найдемъ массу самого солнца, вокругъ котораго движется цѣлыхъ 8 такихъ большихъ спутниковъ, какъ извѣстныя намъ планеты и множество (болѣе 450) мелкихъ астероидовъ [16]).

---

[16]) Пусть m — масса земли, r — радіусъ орбиты луны, t — время ея обращенія, а M, R и T подобныя же данныя для другой планеты и ея спутника.

Тогда по формулѣ (2) имѣемъ: $s = \frac{2\pi^2 r}{t^2}$ (примѣч. 9).

S — паденіе спутника къ планетѣ въ 1 сек. на разстояніи R есть: $S = \frac{2\pi^2 R}{T^2}$.

На основаніи закона тяготѣнія найдемъ, что S_1 — паденіе спутника, поставленнаго на разстояніи r отъ планеты, будетъ $S_1 = \frac{2\pi^2 R}{T^2} \cdot \frac{R^2}{r^2} = \frac{2\pi^2 R^3}{r^2 T^2}$.

Отсюда искомое отношеніе массъ планеты и земли будетъ: $\frac{M}{m} = \frac{S_1}{s} = \frac{R^3 t^2}{r^3 T^2}$ (4). Вотъ формула для сравненія массъ планеты, имѣющей спутника, и земли.

Замѣтимъ, что эта формула приближенная; взаимность силы тяготѣнія (см. ниже) заставляетъ ввести въ формулу нѣкоторую поправку.

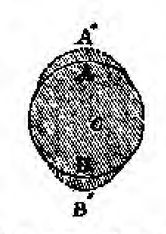
Точная формула имѣетъ слѣдующій видъ: $$\frac{M\left(1+\frac{N}{M}\right)}{m\left(1+\frac{n}{m}\right)} = \frac{R^3 t^2}{r^3 T^2} \;\ldots\ldots\; (5)$$

гдѣ N и n массы спутниковъ, а M и m массы планетъ. Если бы отношенія $\frac{N}{M}$ и $\frac{n}{m}$ были безконечно малыми величинами, то формула (4) была бы совер-

8. Распространенiе 3-го закона механики (§ 3) [17]) на небесныя тѣла, выразившееся въ признанiи тяготѣнiя *взаимной* силой, привело Ньютона къ объясненiю многихъ явленiй. Укажемъ наиболѣе важныя изъ таковыхъ. **Взаимность тяготѣнiя земли и луны. Приливы.**

Луна, тяготѣя къ землѣ, ежесекундно надаетъ на нее на 1,4 млм. Но и сама земля, послушная принципу взаимности силъ, также тяготѣетъ къ лунѣ. Свободно бѣгущая по своей орбитѣ и отвлекаемая тяготѣнiемъ къ лунѣ, она постоянно сходитъ со своей эллиптической орбиты, то подаваясь нѣсколько внутрь ея, то выходя изъ ея предѣловъ во внѣшнее пространство, иными словами,— земля, повинуясь началу взаимности дѣйствiй, сама постоянно *падаетъ* къ лунѣ, которая, непрерывно мѣняя мѣсто, увертывается отъ грозящаго ей удара [18]). Это тяготѣнiе земли къ лунѣ портитъ геометрическую правильность эллиптической земной орбиты.

Самымъ лучшимъ по наглядности доказательствомъ тяготѣнiя земли къ лунѣ служитъ явленiе морскихъ приливовъ и отливовъ, объясняемое тѣмъ обстоятельствомъ, что не всѣ точки земного шара одинаково тяготѣютъ къ лунѣ. Пусть O (фиг. 223) будетъ центръ земного шара, M — центръ луны. Точки земного шара, находящiяся на обращенной къ лунѣ половинѣ, будутъ тяготѣть къ лунѣ сильнѣе, чѣмъ центръ O, а находящiяся на противоположной сторонѣ — слабѣе, такъ какъ первыя ближе, и вторыя—дальше отъ луны, чѣмъ центръ O; поэтому частицы жидкихъ массъ первой половины земли, нызываемыя тяготѣнiемъ изъ относительнаго покоя въ движенiе, *опередятъ* центръ O, а частицы второй,—*отстанутъ*, что и обнаружится образованiемъ приливныхъ волнъ, какъ на сторонѣ, обращенной къ лунѣ, такъ и на противоположной. Земля вращается вокругъ оси; между луной и центромъ O проходятъ послѣдовательно различныя точки земной поверхности,



Фиг. 223. Явленiе морскихъ приливовъ и отливовъ.

шенно точная. Поэтому поправка, вводимая формулой (5), имѣетъ тѣмъ меньшее значенiе, чѣмъ меньше масса спутника сравнительно съ массою планеты; для большинства спутниковъ, массы которыхъ намъ извѣстны, это отношенiе—малая дробь.

[17]) См. „Механ. начала" I, 3, 1, 15 и 16.

[18]) Тяготѣнiе земли къ лунѣ заставляетъ ее описывать также эллипсъ, только незначительный, сравнительно съ размѣрами луннаго (см. ниже, § 9).

и волны прилива обѣгаютъ, такимъ образомъ, вокругъ всего земного шара, періодически повторяясь въ каждомъ пунктѣ приблизительно черезъ $12^1/_2$ часовъ.

Алгебраическое выраженіе закона тяготѣнія.

9. Для составленія общей формулы, выражающей силу тяготѣнія, предположимъ, что мы имѣемъ двѣ матеріальныя точки, массы которыхъ $=1$.

Пусть, при разстояніи между ними $=1$, сила тяготѣнія выражается величиной $=1$.

Замѣнимъ массу 1-ой точки массой M_1; тогда сила тяготѣнія возрастетъ пропорціонально измѣненію массы и будетъ $=M_1$.

Точно такъ же, съ замѣной массы 2-й точки массой M_2, сила тяготѣнія выразится произведеніемъ M_1M_2.

Наконецъ, если мы измѣнимъ разстояніе между массами M_1 и M_2 съ 1 до R, сила тяготѣнія будетъ

$$\frac{M_1 M_2}{R^2}$$

Эта формула выражаетъ законъ тяготѣнія въ общемъ видѣ. Словесно этотъ законъ формулируется слѣдующимъ образомъ:

Сила тяготѣнія прямо пропорціональна произведенію массъ тѣлъ и обратно пропорціональна квадрату разстояній.

Остановимся на одномъ изъ слѣдствій приведенной формулы. Предположимъ, что массы M_1 и M_2, повинуясь силѣ тяготѣнія, начали падать другъ на друга. Обозначая ускореніе [19]) 1-й и 2-й массы буквами q_1 и q_2 и вспомнивъ, что сила выражается произведеніемъ ускоренія на массу [20]), получимъ:

$$\frac{M_1 M_2}{R^2} = M_1 q_1$$

или

$$\frac{M_2}{R^2} = q_1 \quad \dots\dots\dots\dots \quad (a)$$

Точно такъ же для второй массы получимъ

$$\frac{M_1}{R^2} = q_2 \quad \dots\dots\dots\dots \quad (b)$$

---

[19]) См. „Механ. начала“ I, 3, 12.

[20]) Тамъ же, § 14.

Такимъ образомъ, несмотря на равенство силъ тяготѣнія 1-го тѣла ко 2-му и обратно, ускоренія того и другого—различны: раздѣливъ (a) на (b), получимъ

$$q_1 : q_2 = \frac{1}{M_1} : \frac{1}{M_2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (c)$$

т. е. ускоренія взаимно тяготѣющихъ тѣлъ обратно пропорціональны ихъ массамъ [21]).

Замѣтивъ, что ускореніе свободно падающаго тѣла, какъ это доказывается въ механикѣ, равно двойному пространству, пройденному тѣломъ въ 1-ую секунду послѣ начала паденія, мы должны заключить, на основаніи формулы (c), что паденіе земли на луну, о которомъ говорилось въ предыдущемъ §, почти въ 100 разъ меньше паденія луны на землю, такъ какъ во столько разъ масса земли больше массы луны. Поэтому каждая отдѣльная выпуклость и вогнутость на земной орбитѣ, происходящая отъ притяженія земли луною (см. выше § 8), представляется совершенно незначительною.

С. Щербаковъ.

[21]) См. „Механ. начала" I, 3, 5—15.

38. Развитіе Ньютоновой теоріи.

Слѣдствія взаимности и всеобщности тяготѣнія. Возмущенія.

1. Если бы каждая изъ планетъ тяготѣла только къ солнцу, то достаточно было бы дать точку пространства, черезъ которую планета пробѣгаетъ въ извѣстный моментъ, а также величину и направленіе ея скорости, чтобы имѣть возможность аналитическимъ путемъ, т. е. при помощи общихъ формулъ, добыть всѣ тѣ постоянныя величины, которыя опредѣляютъ движеніе планеты; эти постоянныя величины извѣстны подъ именемъ *элементовъ* орбиты; ихъ шесть. Однѣ изъ нихъ даютъ размѣры и форму эллиптической орбиты (большая полуось, эксцентрицитетъ), а прочія опредѣляютъ положеніе этого эллипса въ пространствѣ и самой планеты на эллипсѣ въ извѣстный моментъ, отъ котораго ведется счетъ времени. Каждый послѣдующій оборотъ планеты будетъ повтореніемъ предыдущаго, и при помощи математики мы можемъ найти по вычисленнымъ разъ навсегда элементамъ совершенно точно положеніе планеты для любого момента. Такимъ образомъ вопросъ о движеніи планеты, находящейся подъ вліяніемъ только одного тѣла (такъ называемая задача „о двухъ тѣлахъ"), имѣетъ совершенно точное аналитическое рѣшеніе. Но задача осложняется взаимностью силовыхъ дѣйствій планетъ другъ на друга, и здѣсь не можетъ быть и рѣчи о томъ, чтобы каждый слѣдующій оборотъ планеты былъ повтореніемъ предыдущихъ.

Въ самомъ дѣлѣ, когда, напр., земля подходитъ къ Юпитеру, то, увлекаемая тяготѣніемъ къ этой планетѣ, она сходитъ со своей орбиты, подаваясь нѣсколько къ нему; дальше догонитъ ее Венера, которая толкнетъ землю внутрь орбиты, потомъ, быть можетъ, подойдетъ земля къ Марсу, который опять, подобно Юпитеру, заставитъ ее выйти изъ предѣловъ, только что налаженной,

новой орбиты, и т. д. И каждая планета въ большей или меньшей степени „возмутитъ" ея движеніе; въ то же самое время и сама земля нѣсколько испортитъ путь каждой изъ планетъ, лишитъ его геометрической правильности.

Вслѣдствіе этихъ возмущеній планетные эллипсы являются во многихъ мѣстахъ погнутыми, а скорость движенія планетъ, то ускоряющихся, то замедляющихся, сообразно съ направленіемъ возмущающей силы, обнаруживаетъ нѣкоторыя уклоненія отъ 2-го закона Кеплера. Такимъ образомъ, законы Кеплера даютъ лишь приближенное рѣшеніе вопроса о формѣ планетныхъ орбитъ.

Задача о трехъ тѣлахъ.

2. Ньютонъ естественнымъ развитіемъ идей былъ приведенъ къ мысли о планетныхъ возмущеніяхъ и помощью геометрическаго метода объяснилъ возмущающимъ дѣйствіемъ солнечнаго притяженія нѣкоторыя особенности луннаго движенія (напр., перемѣщеніе плоскости лунной орбиты). Однако, когда послѣдующіе математики приступили къ разработкѣ вопроса о планетныхъ возмущеніяхъ, то должны были вовсе оставить геометрическій методъ Ньютона, какъ очень недостаточный, и сдѣлали попытку рѣшить его аналитически. Вопросъ о движеніи небеснаго тѣла, находящагося подъ непрерывнымъ вліяніемъ всѣхъ прочихъ тѣлъ системы, извѣстенъ въ небесной механикѣ подъ именемъ *задачи о многихъ тѣлахъ*, которая на практикѣ приводится къ частному случаю *задачи о трехъ тѣлахъ*.

Общую задачу о многихъ тѣлахъ можно формулировать слѣдующимъ образомъ: дано въ пространствѣ нѣсколько матеріальныхъ точекъ, имѣющихъ въ данный моментъ опредѣленныя по величинѣ и направленію скорости. Массы ихъ извѣстны, и всѣ онѣ связаны взаимною силою тяготѣнія. Требуется найти формулы, по которымъ можно вычислить положеніе каждой изъ этихъ точекъ для любого момента. Задача, поставленная въ такой общей формѣ, оказывается настолько трудною, что не допускаетъ даже приближеннаго рѣшенія, и только нѣкоторыя исключительныя особенности нашей солнечной системы дали возможность найти приближенное рѣшеніе, удовлетворяющее всѣмъ требованіямъ современной астрономіи. Здѣсь наука обязана трудамъ такихъ знаменитѣйшихъ математиковъ, какъ Клеро (Clairaut), Эйлеръ (Euler), д'Аламберъ (D'Alambert), Лапласъ (Laplace) и Лагранжъ (Lagrange).

Возможность приближеннаго рѣшенія задачи.

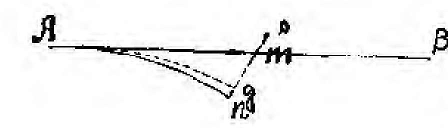
3. Первое и самое главное обстоятельство, которое дѣлаетъ возможнымъ приближенное рѣшеніе задачи, это огромное преобладаніе солнечнаго притяженія надъ взаимными притяженіями планетъ нашей системы: сила тяготѣнія пропорціональна массамъ, а

масса солнца въ 700 разъ болѣе массы всѣхъ планетъ, взятыхъ вмѣстѣ. Правда, тяготѣніе возрастаетъ съ уменьшеніемъ разстояній, но слабо вытянутыя, почти круговыя орбиты планетъ расположены такимъ образомъ, что разстояніе между двумя смежными планетами всегда бываетъ настолько значительно, а массы ихъ такъ малы, что сила ихъ взаимнаго тяготѣнія составляетъ только небольшую часть тяготѣнія ихъ къ солнцу. Чтобы оцѣнить значеніе этихъ обстоятельствъ, разсмотримъ вопросъ подробнѣе.

Возмущенія въ движеніи земли, производимыя Юпитеромъ и Венерой.

Предположимъ, что земля съ извѣстнаго момента, напр., когда она проходила черезъ точку A (фиг. 224), своей орбиты, освобождена отъ всѣхъ силъ, на нее дѣйствующихъ; какъ намъ извѣстно, она пойдетъ въ такомъ случаѣ *по прямой линіи* AB, касательной къ орбитѣ, со скоростью 106000 км. въ 1 часъ и придетъ черезъ часъ въ точку m. Въ дѣйствительности же притяженіе солнца S отзоветъ ее съ этой линіи въ теченіе часа на линію mn = 38 км., вслѣдствіе чего земля попадетъ на эллипсъ своей Кеплеровой, т.е. неиспорченной возмущеніями орбиты. Еслибы въ это время находился Юпитеръ около ближайшаго изъ возможныхъ для него разстояній, въ точкѣ J, то онъ привлекъ бы къ себѣ землю съ касательной за тотъ же промежутокъ времени на линію mp, равную всего только 2,1 метра, т. е. въ 18000 разъ меньшую mn. Слѣдовательно, обѣ силы, слагаясь вмѣстѣ, поставятъ землю въ точку g, которая будетъ всего на 2 метра въ сторонѣ отъ эллипса невозмущенной орбиты. Точно также вліяніемъ Венеры земля подается внутрь своей орбиты, при самыхъ благопріятныхъ условіяхъ, не болѣе, какъ на 1,25 метра въ теченіе 1 часа.





Фиг. 224. Возмущающее дѣйствіе Юпитера на землю.

Конечно, чѣмъ планеты дальше отъ солнца, тѣмъ при прочихъ равныхъ условіяхъ возмущеніе сказывается значительнѣе, такъ какъ

вліяніе массивнаго солнца убываетъ съ разстояніемъ; но по какой-то счастливой случайности, чѣмъ дальше планеты отъ солнца, тѣмъ и взаимныя разстоянія между смежными планетами значительнѣе; если бросить бѣглый взглядъ на планъ солнечной системы, то нельзя не замѣтить, что орбиты все болѣе и болѣе рѣдѣютъ по мѣрѣ удаленія отъ солнца. Одно изъ самыхъ сильныхъ вліяній оказываетъ, напр., Юпитеръ на движеніе Сатурна: но при благопріятныхъ условіяхъ дѣйствіе Юпитера на Сатурна можетъ составить лишь $\frac{1}{150}$ часть тяготѣнія Сатурна къ Солнцу.

Только вслѣдствіе этого преобладающаго вліянія солнечнаго притяженія надъ взаимнымъ притяженіемъ планетъ мы имѣемъ возможность принять *въ качествѣ перваго приближенія*, что каждая планета движется по законамъ Кеплера. Слабыя возмущающія вліянія планетъ другъ на друга могутъ за большіе промежутки времени уже значительно измѣнить форму планетныхъ орбитъ и, при точномъ опредѣленіи положеній планетъ въ пространствѣ, приходится считаться съ этими измѣненіями. Ученіе о возмущеніяхъ (пертурбаціяхъ) и изысканіе методовъ ихъ вычисленія — составляютъ главное содержаніе обширнѣйшаго и труднѣйшаго отдѣла науки о небѣ, называемаго *теоретической астрономіею* или *небесной механикой*.

Способъ приближеннаго рѣшенія задачи.

4. На практикѣ рѣшеніе задачи о трехъ тѣлахъ сводится къ слѣдующему. Представимъ себѣ, что дѣйствительный путь планеты разбитъ на нѣсколько частей. Еслибы планета въ каждой изъ этихъ точекъ дѣленій освобождалась отъ возмущающихъ вліяній, то ея движеніе вокругъ солнца совершалось бы по эллипсу и по законамъ Кеплера; число такихъ эллипсовъ, различныхъ другъ отъ друга, было бы равно числу отрѣзковъ. А такъ какъ, вслѣдствіе незначительности возмущающихъ причинъ, смежные эллипсы весьма мало отличались бы другъ отъ друга, — то можно принять, что дѣйствительная орбита планеты слагается изъ дугъ различныхъ эллипсовъ: планета идетъ по 1-му эллипсу, потомъ переходитъ на 2-й, 3-й... и т. д. Если же предположить, что число отрѣзковъ, на которые мы дѣлимъ путь планеты, безконечно велико, то выше указанное представленіе можно замѣнить слѣдующимъ: планета движется по эллипсу, положеніе котораго въ пространствѣ, форма, размѣры — непрерывно измѣняются въ зависимости отъ планетныхъ возмущеній. И вмѣсто того, чтобы непосредственно вычислять вліяніе возмущающихъ силъ на планету въ каждомъ данномъ ся

положенія,—небесная механика вычисляетъ всѣ тѣ измѣненія элементовъ орбиты, какія произошли за все время, протекшее отъ начальнаго момента до заданнаго; помощію этихъ исправленныхъ элементовъ уже и находятъ искомое мѣсто, какъ въ задачѣ о двухъ тѣлахъ.

Тѣ поправки, которыя слѣдуетъ ввести въ начальные элементы, чтобы получить элементы новой орбиты, измѣненной возмущеніями, извѣстны въ небесной механикѣ подъ именемъ *неравенствъ*.

Неравенства вѣковыя и періодическія. 5. Различаютъ нѣсколько видовъ неравенствъ: *вѣковыя*—это измѣненія элементовъ, происходящія изъ вѣка въ вѣкъ въ одномъ и томъ же направленіи, и *періодическія*, которыя, на подобіе волны, черезъ опредѣленные промежутки времени возрастаютъ, достигаютъ наибольшей величины, затѣмъ падаютъ, доходятъ до нуля, мѣняютъ знакъ съ тѣмъ, чтобы потомъ опять возрастать, такъ что элементъ черезъ нѣкоторые промежутки времени постоянно возвращался бы къ прежней своей величинѣ, еслибы не было вѣковыхъ измѣненій. Слѣдовательно, если требуется опредѣлить то состояніе солнечной системы, какое она будетъ имѣть черезъ громадные промежутки времени, то достаточно принять во вниманіе только вѣковыя неравенства, устраняя изъ расчетовъ волнообразныя измѣненія періодическихъ неравенствъ. Впрочемъ Лагранжъ показалъ, что и вѣковыя неравенства представляютъ собою нѣкоторыя періодическія колебанія, но только они обнимаютъ такіе громадные періоды (отъ 50000 до 2000000 лѣтъ), что за время одной или двухъ тысячъ лѣтъ мы можемъ наблюдать только прогрессивный ходъ ихъ измѣненій.

То замѣчательное согласіе, какое существуетъ между теоретическими и наблюдаемыми мѣстами планетъ, отнесенными на значительные — въ сотни лѣтъ — промежутки времени, служитъ лучшимъ доказательствомъ высокой точности этого приближеннаго рѣшенія задачи „о трехъ тѣлахъ“.

Небесная механика, смѣло распространяющая свои выводы на десятки, сотни, тысячи лѣтъ впередъ, даетъ намъ совершенно опредѣленный отвѣтъ на вопросъ о томъ, что ждетъ солнечную систему въ будущемъ, отдѣленномъ отъ нашей эпохи цѣлыми тысячелѣтіями.

Прочность солнечной системы. 6. Не разстроитъ ли взаимность тяготѣнія когда-либо въ будущемъ условія обитаемости нашей планеты и самого строя современной солнечной системы? Быть можетъ, напр., эксцентрицитеты будутъ все увеличиваться, орбиты—все болѣе и болѣе вытягиваться, и тогда на нашей землѣ жизнь будетъ невозможна вслѣдствіе

рѣзкихъ смѣнъ жары при приближеніи къ солнцу, стужей—по мѣрѣ удаленія отъ него. Орбиты, быть можетъ, сдѣлаются пересѣкающимися, и неизбѣжное при такихъ условіяхъ взаимное столкновеніе планетъ поведетъ къ постепенному разрушенію всей нашей системы. Математическою разработкою этихъ вопросовъ занимались такіе геніальные математики, какъ Лапласъ, Лагранжъ, Пуассонъ (Poisson),—однако, современное состояніе математическаго анализа, а также недостаточное количество точныхъ наблюденій, которыя производятся едва лишь два столѣтія,—не позволяютъ дать вполнѣ точнаго ихъ рѣшенія. Быть можетъ эти сложнѣйшія проблемы небесной механики будутъ съ успѣхомъ разработаны будущими поколѣніями ученыхъ [1].

Вычисленіе массъ изъ величины возмущеній. Открытіе Нептуна.

7. Возмущенія, опредѣляемыя за небольшіе промежутки времени, вообще говоря, незначительны, однако, они и не настолько малы, чтобы могли ускользнуть отъ наблюдателя, вооруженнаго точными угломѣрными снарядами, снабженными зрительными трубами [2]. Такъ, оцѣнивая пертурбаціи (возмущенія), производимыя Венерой, возможно было опредѣлить массу этой планеты; да и вообще оцѣнка возмущеній, производимыхъ планетами, не имѣющими спутниковъ, есть единственное средство для опредѣленія массъ этихъ планетъ.

Здѣсь умѣстно будетъ напомнить о замѣчательномъ въ исторіи астрономіи открытіи самаго отдаленнаго члена солнечной семьи—планеты Нептуна.

Планеты обыкновенно открываются непосредственнымъ наблюденіемъ. Если при наблюденіи тѣмъ или инымъ способомъ окажется, что положеніе какой-либо изъ звѣздочекъ замѣтно мѣняется со временемъ относительно прочихъ звѣздъ, то эта блуждающая точка несомнѣнно планета или комета. Имѣетъ ли мѣсто первое или второе предположеніе—это рѣшаютъ послѣдующія наблюденія. Такъ была открыта Гершелемъ въ 1781 году 7-я большая планета Уранъ, и точно такимъ же образомъ открывались и открываются телескопическія мелкія планетки-астероиды, движущіяся между орбитами Марса и Юпитера. Совершенно иначе былъ открытъ Нептунъ.

Вскорѣ же послѣ открытія Урана, по наблюденнымъ его мѣстамъ, были вычислены всѣ тѣ элементы, которые опредѣляютъ его движеніе, и затѣмъ были составлены таблицы, дающія его бу-

---

[1]) См. „Соврем. сост. астрономія“ II, **42**.

[2]) См. „Астр. инстр.“ II, **40**.

дущія положенія. Въ 20-хъ годахъ текущаго столѣтія, когда Ураномъ была пройдена уже почти половина всего пути около солнца (время его обращенія—84 года), въ движеніи его были замѣчены нѣкоторыя неправильности: вычисленныя мѣста перестали совпадать съ наблюденными.

Оцѣнка возмущеній, произведенныхъ тяготѣніемъ Урана къ другимъ извѣстнымъ тогда планетамъ, оказалась совершенно безсильною для объясненія замѣченныхъ несовпаденій. Вопросъ о таинственной силѣ, сбивавшей Урана съ должнаго пути, оставался открытымъ до начала 40-хъ годовъ, когда за этотъ вопросъ взялись почти одновременно англичанинъ Адамсъ (Adams) и французъ Леверрье (Leverrier). Предположивъ, что та часть возмущеній Урана, которая не поддается объясненію, падаетъ на долю нѣкоторой, еще неизвѣстной планеты, они задались вопросомъ, гдѣ должна быть эта планета. По величинѣ и направленію загадочныхъ уклоненій Урана они почти одновременно вычисленіемъ указали на небесномъ сводѣ тотъ пунктъ, гдѣ слѣдуетъ искать предполагаемую планету. Черезъ нѣсколько дней послѣ окончанія своихъ изысканій, Леверрье получилъ отъ берлинскаго астронома Галле слѣдующее письмо (1846 г.): „Планета, положеніе которой вами вычислено, дѣйствительно существуетъ: въ самый день полученія вашего письма я нашелъ звѣзду 8-й величины, которой нѣтъ на звѣздныхъ картахъ. Наблюденіе слѣдующаго дня рѣшило, что это дѣйствительно планета". Эта телескопическая планета названа была Нептуномъ.

Приведенный фактъ показываетъ, какое громадное значеніе въ наукѣ имѣетъ установленіе такого широкаго и прочно установленнаго обобщенія, какимъ является принципъ тяготѣнія.

Всемірность тяготѣнія.

8. Размѣры солнечной системы съ точки зрѣнія нашего обычнаго масштаба чрезвычайно велики: считая ея предѣлами орбиту Нептуна, мы должны включить ее въ шаръ радіуса свыше 4000 милліоновъ километровъ; свѣтъ, пробѣгающій въ 1 секунду 300000 километровъ, проходитъ діаметръ такого круга въ 8 часовъ.

И вся та матерія, которая въ видѣ отдѣльныхъ крупныхъ и мелкихъ тѣлъ находится въ предѣлахъ этаго пространства, подчинена тяготѣнію. Если вспомнить, что нѣкоторыя изъ періодическихъ кометъ выбѣгаютъ далеко за принятые нами предѣлы солнечной системы и тѣмъ не менѣе продолжаютъ преслѣдоваться тяготѣніемъ къ солнцу, то область дѣйствія этой силы должна быть еще болѣе раздвинута.

Не имѣемъ ли мы здѣсь дѣло со *всемірной*, т. е. дѣйствующей

во всей вселенной силой? Сомнѣнія или нѣкоторыя колебанія здѣсь вполнѣ умѣстны, потому что, какъ ни обширенъ нашъ солнечный міръ, тѣмъ не менѣе онъ слишкомъ уединенъ и даже ничтоженъ, если только сопоставить его съ звѣздными протяженіями.

Чтобы окинуть общимъ взглядомъ протяженіе нашей системы сравнительно съ разстояніемъ до звѣздъ, условимся изображать 150 мил. килом. (разстояніе отъ земли до солнца) въ масштабѣ одного вершка; тогда орбита земли представится кружкомъ радіуса въ 1 вершокъ, орбита отдаленнаго Нептуна—кругомъ радіуса въ 30 вершковъ, что составляетъ почти 2 аршина.

Значитъ, вся солнечная система могла бы умѣститься на семейномъ обѣденномъ столѣ средней величины. Мы получимъ при данномъ масштабѣ разстояніе до *ближайшей* къ намъ звѣзды — α Центавра, если отойдемъ отъ центра нашей миніатюрной системы на цѣлыхъ *одиннадцать* верстъ. И какъ человѣкъ, прожившій всю свою жизнь на какомъ-нибудь затерянномъ въ океанѣ островкѣ, впалъ бы въ ошибку, думая, что всюду и вездѣ онъ встрѣтитъ одни и тѣ же виды растеній, животныхъ, минераловъ, такъ и мы могли бы ошибиться, принимая a priori, что во всей вселенной матерія имѣетъ тѣ же самыя *свойства*, какія наблюдаются въ нашемъ столь маленькомъ и уединенномъ солнечномъ мірѣ.

Эти соображенія заставляютъ осторожнаго изслѣдователя и здѣсь искать въ наблюденіяхъ, въ самой природѣ, опоры для обобщенія, тѣмъ болѣе, что въ существованіи такого свойства матеріи, какъ тяготѣніе, нѣтъ рѣшительно никакой логической необходимости: мы утверждаемъ, что тѣла тяготѣютъ другъ къ другу только потому, что такъ говорятъ явленія, наблюдаемыя среди тѣлъ нашей системы.

Настоящее столѣтіе указало намъ такія явленія, которыя ставятъ положеніе о всеобщности, по крайней мѣрѣ, нѣкоторыхъ, и притомъ весьма важныхъ изъ общихъ свойствъ матеріи, какъ кажется, внѣ сомнѣнія. Такъ, спектроскопъ даетъ одни и тѣ же типическіе спектры для всѣхъ звѣздъ и туманностей, — даже для тѣхъ изъ нихъ, которыя лежатъ въ самыхъ глубокихъ безднахъ пространства и едва усматриваются современными могучими телескопами. Наблюденія показали, что по всему небу во множествѣ разсыпаны *сложныя* (двойныя, тройныя) звѣзды, состоящія изъ двухъ, а иной разъ и изъ большаго числа столь близкихъ другъ къ другу членовъ, что невооруженный глазъ видитъ здѣсь одну звѣзду, и только болѣе или менѣе сильный телескопъ разрѣшаетъ

эту сложную звѣзду на отдѣльно стоящія звѣздочки. Многія изъ такихъ звѣздъ, какъ показали наблюденія, вращаются другъ около друга согласно съ законами тяготѣнія.

Такимъ образомъ, если спектроскопъ засвидѣтельствовалъ объ единствѣ состава матеріи, то сложныя звѣзды указали на единство силъ, управляющихъ движеніями небесныхъ тѣлъ, т. е. тяготѣніе не есть какое-то специфическое свойство тѣлъ, принадлежащее только тѣламъ нашей солнечной системы, а представляетъ собою дѣйствительно общее свойство матеріи, гдѣ бы она ни находилась [3]).

Что такое тяготѣніе?

9. Мы начали съ простыхъ явленій паденія тѣлъ и, слѣдуя Ньютону, распространили дѣйствіе тяжести до луны. Анализъ планетныхъ движеній, въ связи съ математическими выводами Ньютона, заставилъ признать, что существуетъ также „тяжесть" къ солнцу, къ планетѣ, къ любому изъ спутниковъ. Тогда загадочность законовъ Кеплера замѣнилась представленіемъ стройности движеній, управляемыхъ общею силою тяготѣнія.

Принципъ взаимности силовыхъ дѣйствій привелъ къ установленію взаимной связи между всѣми тѣлами солнечной системы,— точно какія-то невидимыя нити протянулись отъ земли къ солнцу, лунѣ, каждой планетѣ, каждому спутнику. Эти нити то напрягаются, то ослабѣваютъ, и тянутъ каждое изъ тѣлъ въ разныя стороны. Здѣсь уже исчезли чистыя геометрическія формы планетныхъ движеній Кеплера, — опять все перепуталось, перемѣшалось и вспомнились старыя, давно забытыя теперь, хитрыя системы древнихъ. Но это лишь простое недоразумѣніе: крѣпко натянутъ главный упругій канатъ, связывающій планету съ солнцемъ, спутника съ планетой; тонкія, эластичныя нити только едва-едва *воз-*

---

[3]) Извѣстно, что, когда комета подходитъ къ солнцу, то нѣкоторыя частицы кометнаго ядра заряжаются отталкивательною силою, направляющеюся отъ солнца; такъ, по крайней мѣрѣ, объясняетъ развитіе кометныхъ хвостовъ одна изъ теорій, обработанная академикомъ Ф. А. Бредихинымъ. Возможность существованія подобныхъ отталкивательныхъ силъ отнюдь не ставитъ насъ въ противорѣчіе съ положеніемъ о всеобщности силы тяготѣнія, какъ не составляетъ противорѣчія, напр., и отталкиваніе двухъ одинаково наэлектризованныхъ тѣлъ. Здѣсь мы можемъ видѣть лишь указаніе на то, что тяготѣніе не *единственная* сила, присущая матеріи, что на ряду съ тяготѣніемъ при нѣкоторыхъ условіяхъ въ матеріи могутъ проявляться и другія силы, маскирующія дѣйствія первой силы.

мущаютъ путь тѣла, и математическій анализъ, опираясь на начала теоріи тяготѣнія, не только съ успѣхомъ выводитъ мысль изъ этого сложнаго лабиринта силовыхъ дѣйствій, но и даетъ Леверрье средства для самыхъ удивительныхъ предсказаній.

Но что же такое сама эта сила тяготѣнія, охватившая собою всю вселенную?

Земля, каждая изъ планетъ — падаютъ къ центру солнца; луна, камень — падаютъ къ центру земли и т. п.

Что сидитъ въ этихъ центрахъ массивныхъ тѣлъ? *Что* испустило во всѣ стороны невидимыя натянутыя нити, цѣпко хватающія каждое тѣло?

Ньютонъ доказалъ, что не въ центрѣ небесныхъ тѣлъ сидитъ этотъ загадочный дѣятель — *онъ неразлученъ съ каждой частицей матеріи:* въ маковомъ зернѣ милліоны частицъ, и всѣ онѣ связаны между собою силою взаимнаго тяготѣнія; а каждая изъ такихъ частицъ тяготѣетъ, какъ бы *притягиваясь*, рѣшительно къ каждой же изъ частицъ, входящихъ въ составъ земного шара. И вотъ безконечное множество этихъ, выходящихъ изъ взятой частицы, тончайшихъ нитей производятъ въ результатѣ нѣкоторое одно общее натяженіе — равнодѣйствующую силу — по направленію къ центру земли. Величина этого натяженія называется нами *вѣсомъ*, а самая невидимая, всегда натянутая нить — *тяготѣніемъ*, *тяжестью*.

Тѣ же невидимыя нити, протянутыя изъ каждой частицы капли жидкости, земли, планеты, солнца ко всѣмъ остальнымъ частицамъ *того же тѣла*, собираютъ всю матерію взятаго тѣла въ сферическія тѣла.

Пусть эта частичность или *дробность* дѣйствія тяготѣнія объясняетъ намъ мнимое средоточіе тяготѣнія въ центрахъ тѣлъ, пусть она объясняетъ намъ и происхожденіе самой общераспространенной формы тѣлъ небесныхъ, являющихся нашему взору именно въ видѣ сферъ. Но что же заставляетъ тяготѣть самыя частицы другъ къ другу?

На это до сихъ поръ нѣтъ рѣшительно никакого сколько - нибудь удовлетворительнаго отвѣта. Мы можемъ сколько угодно удивляться этому *непонятному* для насъ дѣйствію вещества на разстояніи; конечнымъ, несомнѣннымъ выводомъ пока остается только одно — что частицы тяготѣютъ *„словно притягиваясь“*, какъ говоритъ самъ Ньютонъ, и тяготѣніе стоитъ въ наукѣ просто, какъ нѣкоторое *свойство* матеріи, непонятное по существу и характеризуемое такой формулой:

Всякія двѣ частицы матеріи взаимно тяготѣютъ, какъ бы притягиваясь другъ къ другу, прямо пропорціонально произведенію ихъ массъ и обратно пропорціонально квадратамъ ихъ разстояній.

Заключеніе. 10. Въ 1886 году ученый міръ праздновалъ двухсотлѣтнюю годовщину со времени выхода въ свѣтъ „Principia" Ньютона. Это былъ дѣйствительно „праздникъ науки", въ полномъ смыслѣ этого слова, такъ какъ здѣсь вспоминалось событіе, которое, какъ говоритъ Уэвелль [1]), разомъ перевело астрономію изъ младенческаго состоянія въ зрѣлый возрастъ.

„Principia" Ньютона раздѣляютъ исторію астрономіи на два существенно различныхъ между собою періода. Въ первомъ періодѣ мысль медленными шагами восходитъ по ступенямъ обобщеній; она идетъ здѣсь по большей части ощупью и наугадъ, примѣряя и мѣняя одну гипотезу за другой, — такъ бродитъ человѣкъ, попавшій въ незнакомый ему лѣсъ. То направленіе, которое указано было древними, оказалось ложнымъ, и человѣкъ совсѣмъ было запутался въ своихъ эпициклахъ и кругахъ. Первая тропинка, несомнѣнно ведущая къ цѣли странствованій, была найдена Коперникомъ; она вывела Кеплера на широкую дорогу; Ньютонъ возвелъ мысль уже на такую высоту, съ которой открылся широкій горизонтъ для обозрѣнія и объясненія множества разнообразныхъ явленій. Но всѣ они — и Коперникъ, и Кеплеръ, и даже Ньютонъ — еще идутъ путемъ той же примѣрки гипотезъ.

Во второмъ періодѣ исторіи астрономіи, начавшемся съ выходомъ въ свѣтъ „Principia", мысль идетъ обратнымъ путемъ, — нисходя отъ Ньютонова обобщенія къ наблюдаемымъ частностямъ. Каждый новый вопросъ обращается просто въ нѣкоторую болѣе или менѣе трудную математическую или механическую задачу. Здѣсь изслѣдователь заранѣе въ общихъ чертахъ знаетъ, что̀ *должны* дать ему его выкладки, такъ какъ начало тяготѣнія, служащее ему однимъ изъ данныхъ рѣшаемой задачи, обнимаетъ *всѣ* частности, значитъ и ту, которую онъ изслѣдуетъ. Когда Уранъ отказался итти согласно теоріи Ньютона, то Леверрье ищетъ не поправки къ теоріи тяготѣнія, не новаго какого-нибудь закона, — онъ подозрѣваетъ здѣсь вліяніе тѣхъ обстоятельствъ, скрытыхъ въ самой природѣ, которыя

---

[1]) *В. Уэвелль.* Исторія индуктивныхъ наукъ, т. II (рус. перев., изд. 1867 г.).

разрываютъ цѣпь причинныхъ зависимостей, связывающихъ движеніе Урана съ началомъ Ньютона.

Уэвелль (W. Whevell) называетъ теорію тяготѣнія высшей точкой индуктивнаго восхожденія, послѣдней катастрофой драмы, прологъ къ которой былъ составленъ еще древними философами.

Впрочемъ, пожалуй, слишкомъ смѣло и преждевременно утверждать, что это *послѣдній* пунктъ, *высшая* точка. Тяготѣніе, какъ мы это уже указывали, само по себѣ представляетъ загадочное начало и, быть можетъ, со временемъ окажется частнымъ проявленіемъ нѣкоторой другой общей силы, другого физическаго дѣятеля. Научная мысль въ настоящее время еще только вступила на путь объединенія физическихъ силъ и можно надѣяться, что современемъ будутъ открыты еще болѣе широкія обобщенія.

С. Щербаковъ.

Библіографія.

1. *Лапласъ*. Изложеніе системы міра.

2. *Гершель*. Очерки Астрономіи 2-й томъ.

3. *Цингеръ, В. Я.* Элементарное изложеніе теоріи эллиптическаго движенія планетъ.

4. *Tisserand*. Notice sur les perturbations. (Leçons de Cosmographie par MM. F. Tisserand et H. Andoyer. Paris, 1895, pp. 267 — 289).

---

39. Скорость свѣта и аберрація. Прецессія и нутація.

Скорость свѣта.

1. Уже въ древности нѣкоторые мыслители предполагали, что свѣтъ распространяется съ нѣкоторою, хотя и очень большою, но не мгновенною, скоростью. Эти предположенія, однако, были апріорны.

Первое опредѣленіе скорости свѣта Галилеемъ.

2. Первый, кто пытался опредѣлить скорость свѣта изъ наблюденій, былъ Галилей [1]), произведшій слѣдующій опытъ. Два наблюдателя помѣщались на разстояніи 1800 метровъ другъ отъ друга съ закрытыми лампами, при чемъ первый изъ наблюдателей въ произвольный моментъ открывалъ свою лампу; второй какъ только замѣчалъ это, открывалъ свою. Время между моментомъ открытія первымъ наблюдателемъ своей лампы и моментомъ, когда до него достигалъ свѣтъ отъ второго наблюдателя, должно было равняться времени, необходимому для прохожденія свѣтомъ двойного разстоянія между наблюдателями, т. е. 3600 метровъ.

Хотя эти опыты, въ виду незначительности, по сравненію со скоростью свѣта, разстоянія, на которомъ они производились, и не дали положительныхъ результатовъ, но самъ методъ въ принципѣ оказался вѣрнымъ и положенъ въ основаніе классическаго способа опредѣленія (1849) скорости свѣта Физо (Fizeau).

Скорость свѣта по затменіямъ спутниковъ Юпитера.

3. Датскій астрономъ Олаусъ Рёмеръ (Römer) первый получилъ (1675) хотя и не точную величину для скорости свѣта, но дающую понятіе о громадности этой скорости. Онъ вывелъ изъ большого ряда своихъ наблюденій заключеніе, что затменія I [2]) спутника Юпи-

---

[1]) Портретъ и біографія см. т. II, стр. 359 — 360.

[2]) Послѣ открытія (1892) новаго спутника, прежній I спутникъ сталъ вторымъ по удаленію отъ планеты.

тера должны бы были повторяться черезъ одинаковые промежутки времени, равные обороту спутника вокругъ Юпитера, т. е. 1 д. 18 ч. 28 м. 35,9 с. На этомъ основаніи, исходя отъ нѣкотораго опредѣленнаго момента, Рёмеръ составилъ заранѣе таблицу предстоявшихъ затменій этого спутника. Между тѣмъ наблюденныя времена затменій отличались отъ предвычисленныхъ. Иногда затменія происходили ранѣе предвычисленныхъ моментовъ, иногда позже.

Ускореніе въ явленіи, какъ объяснилъ Рёмеръ, происходитъ тогда, когда въ моментъ затменія разстояніе мѣста наблюденія, т. е. земли, отъ Юпитера меньше разстоянія тѣхъ же планетъ, бывшаго во время, принятое за начальное при составленіи таблицъ затменій. Обратное явленіе, т. е. запаздываніе, наблюдается, когда разстояніе земли отъ Юпитера въ моментъ затменія больше первоначальнаго.

4. Рёмеръ изъ своихъ наблюденій для *уравненія свѣта*, т. е. для времени, необходимаго свѣту, чтобы пройти среднее разстояніе земли отъ солнца такъ называемую *астрономическую единицу длины*, получилъ величину равную 11 минутамъ, которая значительно превосходитъ полученные впослѣдствіи результаты. **Уравненіе свѣта.**

Деламбръ (Delambre) въ 1792 г. болѣе чѣмъ изъ 1000 наблюденій затменій I спутника получилъ для уравненія свѣта 493,2 с. т.-е. 8 минутъ 13,2 секунды. Проф. Глазенапъ, въ 1874 г., обработавъ 391 наблюденіе затменій того же спутника, получилъ для уравненія свѣта 497,5 с., а послѣ исправленія этого результата отъ ошибокъ фотометрическаго характера, т. е. зависящихъ отъ оптической силы инструментовъ, которыми наблюдались затменія, и отъ яркости Юпитера въ моменты затменій — 500,8 с.

5. Чтобы дать понятіе о томъ, какъ получается уравненіе свѣта изъ наблюденій, вычислимъ его по двумъ затменіямъ I спутника, времена которыхъ взяты изъ астрономическаго ежегодника „Nautical Almanac“ [3]). **Примѣръ вычисленія уравненія свѣта.**

17 января 1896 г. въ 6 ч. 22 м. 51 с. средняго Гринвичскаго [4]) времени, по „Nautical Almanac“ на 1896 годъ, должно было происходить затменіе I спутника; затѣмъ, въ томъ же году, 10 сентя-

[3]) Nautical Almanac—употребительнѣйшій изъ современныхъ астрономическихъ календарей. См. „Успѣхи астрономіи“ II, 41.

[4]) Т.-е. средняго времени по меридіану Гринвичской обсерваторіи близъ Лондона (мѣсто изданія Nautical Almanac'а). О среднемъ времени и о разницѣ времени мѣстъ съ различными географическими долготами — подробно см. „Астр. инстр.“ II, 40, 6 и 8.

бря въ 10 ч. 31 м. 18 с. такое же затменіе должно было имѣть мѣсто. Между этими двумя моментами I спутникъ сдѣлалъ 134 полныхъ оборота вокругъ Юпитера; время каждаго оборота равно 1 д. 18 ч. 28 м. 35,9 с. Разстояніе Земли отъ Юпитера 17 января было 4,307 астрономическихъ единицы длины, а 10 сентября—6,278, т. е земля отъ Юпитера во второмъ случаѣ была на 1,971 астрономической единицы длины дальше, чѣмъ въ первомъ. Если мы прибавимъ ко времени перваго затменія время 134 оборотовъ I спутника, т. е. 237 д. 3 ч. 52 м. 10 с., то получимъ, что затменіе 10 сентября должно было бы наблюдаться, если бы свѣтъ распространялся мгновенно, въ 10 ч. 15 м. 2 с., въ дѣйствительности же затменіе, по „Nautical Almanac", происходило въ 10 ч. 31 м. 18 с.; такимъ образомъ, оно запоздало на 16 м. 16 с. или на 976 с., т. е. на время, необходимое свѣту для прохожденія разстоянія въ 1,971 астрономической единицы длины. Отсюда, раздѣливъ 976 с. на 1,971, мы получимъ для уравненія свѣта 495,1 с. Величина эта очень близка къ величинѣ Деламбра (493,2 с.).

Конечно, двухъ наблюденій недостаточно: нужно опредѣлять уравненіе свѣта изъ многихъ наблюденій, и затѣмъ среднее арифметическое изъ полученныхъ результатовъ дастъ намъ истинную величину уравненія свѣта.

Зная разстояніе земли отъ солнца въ километрахъ, а также скорость свѣта, въ тѣхъ же единицахъ, полученную изъ земныхъ наблюденій, напр., по способу Физо, можно получить уравненіе свѣта, раздѣливъ первую величину на вторую. Принявши среднее разстояніе земли отъ солнца равнымъ 149500000 километрамъ, а скорость свѣта 299860 километрамъ [1]) для уравненія свѣта получимъ 498,7 с.

Вліяніе уравненія свѣта на времена наблюденій кометъ и планетъ. Планетная аберрація.

6. Такимъ образомъ, вслѣдствіе того, что свѣтъ распространяется не мгновенно, мы видимъ небесныя свѣтила не въ тѣхъ мѣстахъ неба, гдѣ они дѣйствительно находятся въ моменты наблюденій. Такъ, ближайшая къ намъ звѣзда α Centauri (на южномъ полушаріи неба) отстоитъ отъ земли на разстояніе, которое лучъ свѣта пробѣгаетъ въ 4 года; собственно движеніе этой звѣзды, 3″7 въ годъ,—слѣдовательно, мы въ данное время наблюдаемъ звѣзду въ той точкѣ, гдѣ она была 4 года тому назадъ, и въ моментъ наблюденія она находится уже на 4.3,″7 = 14,″8 впереди ея види-

[1]) Эта величина получена въ 1885 г. американскимъ астрономомъ Ньюкомбомъ (Newcomb) способомъ Фуко (Foucault) съ вращающимся зеркаломъ. Способы Фуко и Физо описываются во всѣхъ курсахъ физики.

наго положенія. Вліяніемъ уравненія свѣта нельзя пренебрегать также при вычисленіи планетныхъ и кометныхъ орбитъ, такъ какъ эти орбиты опредѣляются по даннымъ временамъ наблюденій и по геоцентрическимъ [6]), т. е. отнесеннымъ къ центру земли, координатамъ (положеніямъ) планеты или кометы въ моменты наблюденій. Наблюдая и эти свѣтила, мы видимъ ихъ не въ томъ мѣстѣ, гдѣ они дѣйствительно находятся, а въ томъ, гдѣ они находились ранѣе момента наблюденія на промежутокъ времени, необходимый свѣту, чтобы пройти отъ свѣтила къ землѣ. Поэтому, если разстояніе свѣтила отъ земли, выраженное въ астрономическихъ единицахъ длины (т. е. радіусахъ земной орбиты, см. § 4), въ моментъ опредѣленія координатъ свѣтила намъ извѣстно, то за время наблюденія этихъ координатъ принимаютъ не наблюденное, а это послѣднее, уменьшенное на произведеніе уравненія свѣта на разстояніе наблюдаемаго свѣтила, выраженное въ астрономическихъ единицахъ длины. Эта поправка во времени называется *планетною аберраціею*. Возьмемъ примѣръ. Среднее разстояніе Юпитера отъ солнца $=5,2$ астр. единицъ; слѣдовательно, въ *противостояніи*, т. е. когда земля находится на одной прямой съ солнцемъ и Юпитеромъ и *между* ними, — разстояніе этой планеты отъ земли наименьшее изъ всѣхъ возможныхъ) будетъ 4,2; поэтому аберрація для Юпитера во время противостоянія равна $498,7 \times 4,2 = 34$ м. 54,5 с.

Годовая аберрація неподвижныхъ звѣздъ.

7. Кромѣ планетной аберраціи существуетъ еще такъ называемая *годовая аберрація неподвижныхъ звѣздъ*, случайно открытая Брадлеемъ (Bradley) въ 1728 г. при изысканіяхъ годичнаго параллакса [7]) звѣздъ.

Еще ранѣе Брадлея многіе астрономы безуспѣшно пытались открыть годичный параллаксъ неподвижныхъ звѣздъ съ тѣмъ, чтобы этимъ открытіемъ окончательно подтвердить систему Коперника и опредѣлить разстоянія отъ земли до ближайшихъ звѣздъ.

Наблюденіе Гука.

8. Наиболѣе раціональный методъ для этой цѣли былъ предложенъ Гукомъ (Hooke), а именно: наблюдать звѣзды съ малымъ зенитнымъ разстояніемъ въ меридіанѣ [8]), въ виду того, что, наб-

[6]) О геоцентрическихъ координатахъ и объ астрономическихъ координатахъ вообще см. „Астр. инстр." II, 40, 2—7.

[7]) О параллаксахъ вообще и о годичномъ параллаксѣ звѣздъ см. „Астр. инстр." II, 40, 7.

[8]) Разъясненіе термина зенитное разстояніе и о меридіанныхъ наблюденіяхъ см. „Астр. инстр." II, 40, 3 и 11.

людая такія звѣзды, можно пренебречь рефракціею, которая тогда не была еще точно изслѣдована [9]). Выборъ Гука палъ на звѣзду γ Draconis, какъ удовлетворяющую этому условію: зенитное ея разстояніе въ меридіанѣ составляло лишь нѣсколько минутъ. На основаніи своихъ наблюденій, Гукъ вынелъ заключеніе, что γ Draconis обладаетъ значительнымъ параллаксомъ.

Наблюденія Молинё и Брадлея.

9. Чтобы провѣрить результатъ Гука, Молинё (Molyneux) заказалъ извѣстному въ то время механику Греэму (Graham) большой *зенитный секторъ* [10]), при помощи котораго сталъ періодически измѣрять зенитныя разстоянія γ Draconis.

Наблюдая звѣзду въ Кью 3, 5, 11 и 12 декабря 1725 г., онъ не замѣтилъ никакого измѣненія въ ея положеніи. Затѣмъ 17 декабря Брадлей, пріѣхавшій въ Кью, пронаблюдалъ ту же звѣзду тѣмъ же инструментомъ и обратилъ вниманіе на то, что звѣзда передвинулась къ югу по сравненію съ предыдущими наблюденіями.

Затѣмъ 20 декабря Молинё и Брадлей съ изумленіемъ замѣтили, что звѣзда подвинулась еще болѣе къ югу. Такимъ образомъ она постепенно перемѣщалась къ югу до марта 1726 г., когда достигла разстоянія въ 20″ отъ первоначальнаго ея положенія. Въ началѣ апрѣля звѣзда казалась неподвижною, послѣ чего, въ серединѣ апрѣля, снова стала перемѣщаться, но теперь уже къ сѣверу. Въ іюнѣ ея зенитное разстояніе въ меридіанѣ было то же самое, что и въ декабрѣ; въ сентябрѣ звѣзда достигла наибольшаго удаленія къ сѣверу, затѣмъ снова стала спускаться къ югу, и въ началѣ декабря положеніе ея было то же, что годъ тому назадъ.

Перемѣщеніе звѣзды, очевидно, происходило вслѣдствіе какого-либо однообразнаго дѣйствія неизвѣстной до того времени причины. Годичнымъ параллаксомъ это перемѣщеніе не могло быть объяснено [11]), такъ какъ вліяніе параллакса должно было отразиться на видимомъ перемѣщеніи иначе: съ декабря по іюнь, подъ вліяніемъ параллакса, звѣзда должна была бы перемѣщаться къ сѣверу, съ іюня же по декабрь—къ югу. Колебаніемъ земной оси и рефракціею явленіе также не могло быть объяснено.

---

[9]) Рефракціею называется преломленіе лучей свѣта земною атмосферою; она равна нулю, если свѣтило находится въ зенитѣ (т. е. прямо надъ головою) наблюдателя, потому что тогда лучи падаютъ перпендикулярно къ слоямъ воздуха и, слѣдовательно, не испытываютъ преломленія, какъ это извѣстно изъ начальной физики.

[10]) См. „Астр. инстр". I, 40, 9.

[11]) О параллактическомъ перемѣщеніи см. „Система Коперника" I,. 36, 2.

Тогда Брадлей, чтобы провѣрить вновь это явленіе, заказалъ, тому же Грэму большой зенитный секторъ, радіусъ котораго равнялся $12^{1}/_{2}$ футамъ, дуга же была въ $6^{1}/_{4}{}^{\circ}$. Инструментомъ этимъ можно было наблюдать около 200 звѣздъ, въ томъ числѣ и Капеллу, единственную звѣзду первой величины, проходившую черезъ зенитъ мѣста наблюденія Брадлея (Уонстедъ въ Эссексѣ). Выбравши изъ этихъ звѣздъ 12, наиболѣе пригодныхъ для его цѣли, Брадлей сталъ ихъ систематически наблюдать и уже въ скоромъ времени открылъ общій законъ, что всякая звѣзда наиболѣе отклоняется къ сѣверу тогда, когда она проходитъ черезъ зенитъ, около 6 часовъ пополудни, а къ югу — когда проходитъ черезъ зенитъ около 6 часовъ пополуночи.

Открытіе аберраціи Брадлеемъ.

10. Изъ тѣхъ же наблюденій Брадлей вывелъ заключеніе, что всякая звѣзда описываетъ въ теченіе года вокругъ нѣкоторой точки эллипсъ, большая ось котораго, приблизительно равная 20″, параллельна эклиптикѣ. Центръ эллипса представляетъ собою то положеніе звѣзды, въ которомъ мы ее видѣли бы, если бы земля была неподвижна. Описываемый звѣздою эллипсъ обращается для эклиптикальныхъ звѣздъ въ прямую линію, совпадающую съ эклиптикой, а для звѣздъ, лежащихъ около полюса эклиптики, въ окружность радіуса 20″ [12]).

Объясненіе аберраціи.

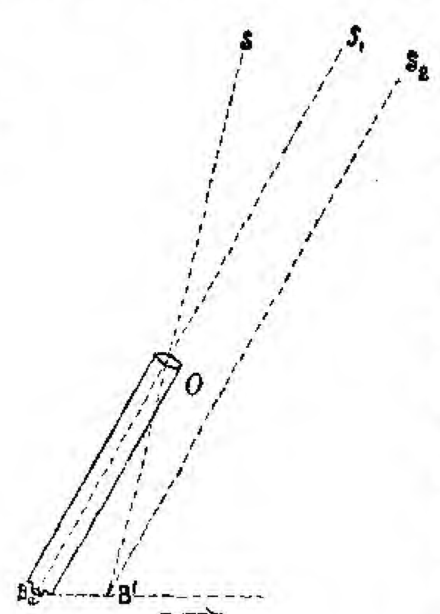
11. Явленіе это Брадлей назвалъ аберраціею звѣздъ и правильно его объяснилъ. Пусть на фиг. 225 OB представляетъ астрономическую трубу, оптическая ось которой направлена на нѣкоторую свѣтящуюся точку небеснаго свода S_1. Если бы земля была неподвижна, то оставалась бы неподвижною въ пространствѣ также и труба, и свѣтовой лучъ отъ точки S_1 достигалъ бы окуляра трубы, совпадающаго съ точкою B пространства, по линіи S_1B. Вслѣдствіе движенія земли вокругъ солнца, лучъ свѣта, достигнувшій объектива трубы въ точкѣ O, хотя затѣмъ и попадетъ въ точку B пространства, но въ это время точка B будетъ находиться позади окуляра, такъ какъ, пока лучъ свѣта пройдетъ разстояніе OB, труба вмѣстѣ съ землею передвинется на разстояніе BB' по направленію, обозначенному на чертежѣ стрѣлкою.

Въ окуляръ трубы попадетъ лучъ, идущій отъ точки S небес-

---

[12]) Эклиптика—кругъ видимаго годичнаго пути солнца по небу; эклиптикальныя звѣзды—лежащія вблизи эклиптики (иначе называются зодіакальными); полюсы эклиптики — точки пересѣченія съ безконечно удаленною небесною сферою перпендикуляра къ эклиптикѣ (точки p и p' на фиг. 233 въ ст. „Астрономическіе инструменты“).

наго свода къ объективу O и затѣмъ попадающій въ точку B' одновременно съ окуляромъ a трубы. Для этого необходимо, чтобы OB' относилась къ BB', какъ скорость свѣта къ скорости земли. Находясь въ точкѣ B' мы въ окуляръ увидимъ звѣзду, совпадающую съ точкою S небеснаго свода, между тѣмъ какъ оптическая ось трубы будетъ направлена не по линіи $B'S$, а по линіи $B'S_2$, параллельной BS_1, т. е. будетъ отклонена по направленію движенія земли на уголъ $SB'S_2$. Этотъ уголъ и называется *годовою аберраціею неподвижныхъ звѣздъ.*



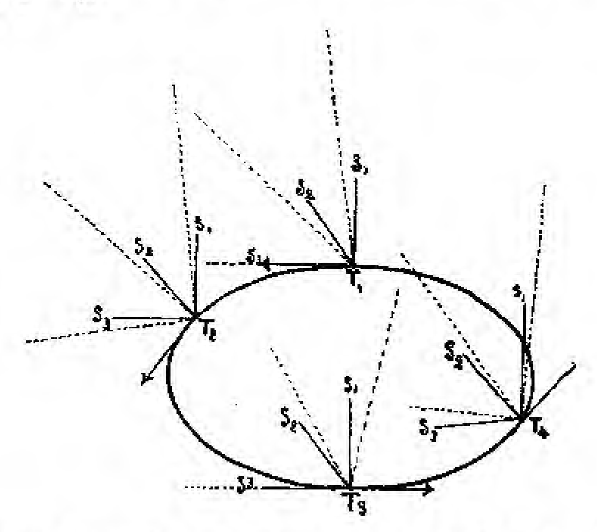
Фиг. 225. Объясненіе аберраціи свѣта. S_2 видимое положеніе звѣзды S; $\angle SB'S_2 = \angle SOS_1$ - уголъ аберраціи.

Постоянная аберрація.

12. Наибольшая его величина будетъ тогда, когда направленіе звѣзднаго луча перпендикулярно къ направленію движенія земли. Тогда аберрація равна отношенію скорости движенія земли вокругъ солнца къ скорости свѣта, и ея величина называется *постоянною аберраціи* (Numerus constans aberrationis). Средняя скорость движенія земли вокругъ солнца равна 29734 километрамъ, а скорость свѣта, какъ выше сказано,—299860 километрамъ. Такимъ образомъ постоянная аберраціи будетъ равна $\frac{29734}{299860} = \frac{1}{10085}$.

$\frac{1}{10085}$ представляетъ постоянную аберраціи, выраженную въ частяхъ радіуса. Чтобы получить ее въ секундахъ дуги, нужно умножить $\frac{1}{10085}$ на 206265, т. е. на число секундъ въ дугѣ, длина которой равна радіусу окружности. Итакъ, постоянная аберраціи равна $\frac{206265''}{10085} = 20'',452$. Самою точною величиною постоянной аберраціи считается, въ настоящее время, полученная въ 1882 году изъ Пулковскихъ наблюденій астрономомъ этой обсерва-

торіи Нюреномъ, а именно 20″,492. Такъ какъ величина аберраціи зависитъ отъ угла, составляемаго лучомъ, идущимъ отъ звѣзды, съ направленіемъ движенія земли, то вліяніе аберраціи на положеніе звѣзды будетъ измѣняться въ зависимости отъ измѣненія какъ положеній земли относительно солнца, такъ и положеній звѣзды относительно эклиптики. Для ясности на фиг. 226 представлено вліяніе аберраціи, при четырехъ положеніяхъ земли T_1, T_2, T_3 и T_4, на три звѣзды S_1 S_2 и S_3, соотвѣтственныя широты которыхъ—90°, 45°, и 0° [18]).



Фиг. 226. Вліяніе аберраціи свѣта на видимыя положенія звѣздъ. Сплошныя линіи—направленія къ истинному положенію звѣздъ, пунктирныя — къ видимому; углы между тѣми и другими — углы аберраціи; стрѣлками показано направленіе движенія земли.

На фиг. 227 помѣщены видимые пути, описываемые вслѣдствіе аберраціи звѣздами S_1, S_2 и S_3 вокругъ ихъ истиннаго положенія.

13. Кромѣ годовой аберраціи неподвижныхъ звѣздъ существуетъ еще *суточная аберрація*, происходящая вслѣдствіе вліянія вращенія земли вокругъ оси на направленіе свѣтового луча, идущаго отъ звѣзды. Суточная аберрація, независимо отъ ея измѣненія, вслѣдствіе измѣненій направленія звѣзднаго луча относительно направленія вращательной скорости земли, мѣняется вмѣстѣ съ географическою широтою мѣста наблюденія, такъ какъ линейная ско- **Суточная аберрація.**

[18]) Рѣчь идетъ объ *астрономическихъ* широтахъ. См. „Астрон. инстр." II, **40**, 6.

рость вращенія каждой точки земной поверхности пропорціональна радіусу параллели этой точки [14]).

Суточная аберрація уменьшается съ удаленіемъ отъ экватора и на полюсѣ обращается въ нуль. Наибольшая ея величина для даннаго мѣста и данной звѣзды будетъ тогда, когда звѣзда проходитъ черезъ меридіанъ мѣста.

Открытіе прецессіи Гиппархомъ.

14. Астрономы древности своими недостаточно точными приборами, конечно, не могли обнаружить столь малыхъ измѣненій въ положеніяхъ звѣздъ, какъ происходящихъ отъ аберраціи. Однако другое измѣненіе въ положеніяхъ звѣздъ, хотя тоже малое, но ежегодно накопляющееся и достигающее, вслѣдствіе суммированія, послѣ большого промежутка времени значительной величины, было открыто въ 125 году до Р. Х. Гиппархомъ [15]).

S₁ діаметръ = 40″,44
S₂ большая ось = 40″,44; малая " = 28″,58
S₃ длина = 40″,44

Фиг. 227. Годичныя орбиты, описываемыя звѣздами вслѣдствіе аберраціи: вверху для звѣзды, находящейся въ полюсѣ эклиптики; въ серединѣ звѣзда съ астрономической широтою 45°; снизу — звѣзда лежащая въ плоскости эклиптики (широта 0°).

Изъ сравненія своихъ наблюденій надъ положеніями звѣздъ съ наблюденіями, произведенными за 170 лѣтъ до него астрономомъ Тимохарисомъ, Гиппархъ замѣтилъ, что астрономическія долготы [16]) всѣхъ звѣздъ ежегодно увеличиваются, между тѣмъ какъ широты остаются неизмѣнными. Гиппархъ объяснялъ это явленіе тѣмъ, что точка весенняго равноденствія (отъ которой считаются долготы) [17]) ежегодно перемѣщается на 48″ съ востока на западъ, т. е. навстрѣчу видимому движенію солнца между звѣздами. Такъ какъ вслѣдствіе этого обстоятельства предваряется прохожденіе солнца черезъ точки равноденствій, то открытое Гиппархомъ перемѣщеніе точки весенняго равноденствія на-

---

[14]) Радіусъ параллели равенъ радіусу экватора, умноженному на $Cos\varphi$, гдѣ φ есть широта мѣста наблюденія. Такъ какъ радіусъ экватора равенъ 6378 километрамъ, а звѣздныя сутки 86164 секундамъ средняго времени, то скорость движенія каждой точки экватора будетъ $\frac{2\pi \cdot 6378}{86164}$ кил. $= 0,465$ килом. Наибольшая величина суточной аберраціи будетъ на экваторѣ, гдѣ $Cos\varphi = 1$. Такъ она равна $\frac{0,465}{299860} \cdot 206265'' = 0'',33$.

[15]) См. „Греч. астрономія“ II, 35, 3.

[16]) См. „Астр. инстр.“ II, 40, 6.

[17]) См. тамъ-же.

звано *предвареніемъ равноденствій* или *прецессіей*. 300 лѣтъ спустя Птоломей, сравнивъ наблюденія Гиппарха со своими, подтвердилъ существованіе прецессіи, хотя при этомъ получилъ для нея невѣрную величину 36″.

Объясненіе прецессіи по Копернику.

15. Правильное объясненіе прецессіи дано впервые Коперникомъ [18]). Онъ объяснилъ это явленіе тѣмъ, что земная ось, при движеніи земли вокругъ солнца, не сохраняетъ неизмѣнно своего направленія въ пространствѣ, а чрезвычайно медленно описываетъ коническую поверхность около оси, перпендикулярной къ эклиптикѣ. Полная поверхность конуса описывается земною осью въ 25868 лѣтъ

Открытіе Брадлеемъ нутаціи.

16. Кромѣ прецессіи въ положеніи звѣздъ наблюдается еще новое періодическое измѣненіе, періодъ котораго равенъ 18,6 годамъ. Это явленіе открыто Брадлеемъ изъ наблюденій γ Draconis, той же звѣзды, наблюдая которую онъ открылъ аберрацію.

Сдѣлавши поправки по отношенію къ прецессіи и аберраціи въ 300 наблюденіяхъ этой звѣзды, произведенныхъ съ 1727 года по 1745, Брадлей замѣтилъ, что въ положеніяхъ звѣздъ остаются еще нѣкоторыя періодическія отклоненія отъ средняго ихъ положенія, при чемъ вслѣдствіе этихъ отклоненій каждая звѣзда описываетъ вокругъ средняго своего положенія въ періодъ времени около 18 лѣтъ окружность радіуса 9′. Это явленіе удовлетворительно объяснялось колебаніемъ земной оси, такъ какъ изъ наблюденій другой звѣзды, 35 Camelopardalis, прямое восхожденіе которой отличается отъ прямого восхожденія γ Draconis на 12 часовъ [19]), получилось, что обѣ эти звѣзды перемѣщаются въ стороны противоположныя: когда γ Draconis перемѣщалась къ сѣверу, 35 Camelopardalis перемѣщалась къ югу и наоборотъ. Именно это и должно происходить при колебаніи земной оси. Пользуясь тѣми же наблюденіями, Брадлей обнаружилъ связь между движеніемъ лунныхъ узловъ [20]) и явленіемъ только что описаннымъ, получившимъ названіе *колебанія земной оси* или *нутаціи*. Періодъ нутаціи точно совпадаетъ съ періодомъ движенія лунныхъ узловъ по эклиптикѣ.

Механическое объясненіе прецессіи по Ньютону.

17. Первое механическое объясненіе прецессіи дано Ньютономъ: онъ объяснялъ прецессію, какъ результатъ несферичности земли. Если бы земля была однороднымъ шаромъ, то равнодѣйствующая всѣхъ притяженій солнца на отдѣльныя частицы земли проходила

[18]) Портретъ и біографія см. т. II, стр. 343 — 344.

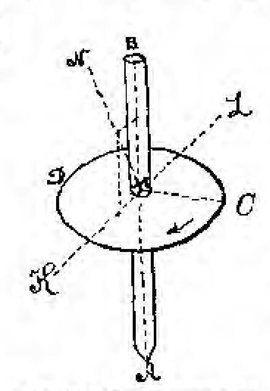
[19]) См. „Астр. инстр.“ II, 40, 4.

[20]) Лунными узлами или узлами лунной орбиты называются точки пересѣченія этой орбиты съ эклиптикой.

бы черезъ центръ этой послѣдней и не вліяла бы на положеніе земной оси. Экваторіальный выступъ сжатой у полюсовъ земли Ньютонъ принималъ за кольцо, состоящее изъ множества спутниковъ, время обращенія которыхъ вокругъ земли равно однимъ суткамъ. Тогда, вслѣдствіе возмущеній [21]), производимыхъ солнцемъ, линія пересѣченія средней плоскости движенія воображаемыхъ спутниковъ или, что одно и тоже, плоскости экватора съ плоскостью эклиптики должна постепенно отступать, т. е. двигаться въ направленіи, противоположномъ движенію земли вокругъ солнца. Это объясненіе, однако, даетъ не совсѣмъ точное понятіе о прецессіи. Впослѣдствіи Даламберомъ (D'Alambert) дано другое объясненіе, лучше характеризующее прецессію.

Объясненіе прецессіи по Даламберу.

18. Даламберъ сравниваетъ вращеніе земли съ вращеніемъ волчка. На фиг. 227 представленъ обыкновенный волчокъ, т. е. кругъ DC, насаженный на ось AB. Сообщимъ этому волчку вращательное движеніе около его оси. Пока онъ вращается въ вертикальномъ положеніи, ось его остается неподвижною, если ей въ началѣ движенія не было сообщено никакого толчка. При всякомъ нажатіи, напр., пальцемъ, на какую-либо точку C круга волчка ему сообщается вращеніе около новой оси KL, лежащей въ плоскости круга и перпендикулярной къ радіусу MC. Вращеніе, соотвѣтствующее одновременнымъ вращеніямъ волчка около двухъ осей AB и KL равно вращенію около новой оси NM, представляющей собою діагональ параллелограмма, стороны котораго направлены по осямъ AB и KL и пропорціональны соотвѣтственно угловымъ скоростямъ вращенія около этихъ осей [22]). Такимъ образомъ, ось вращенія AB отклонится отъ первоначальнаго положенія на уголъ, равный углу NMB. Отклоненіе это произойдетъ въ плоскости, перпендикулярной къ радіусу круга волчка, проходящему черезъ точку C этого круга, въ которой произведено давленіе.



Фиг. 228. Объясненіе явленія прецессіи. AB ось вращенія волчка, C— точка давленія посторонней силы, MN—новая ось вращенія.

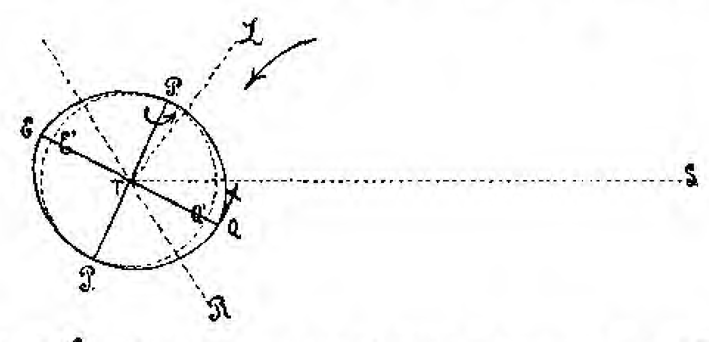
Разсмотримъ теперь дѣйствіе солнца на вращающуюся землю

---

[21]) См. „Развитіе Ньютон. теоріи" II, 38.

[22]) Какъ это доказывается въ курсахъ механики. Угловою скоростью называется число оборотовъ тѣла вокругъ оси вращенія въ единицу времени.

во время солнцестояній и равноденствій [23]). Во время солнцестоянія, напр., лѣтняго, земля T, по отношенію къ солнцу S, имѣетъ положеніе, представленное на фиг. 229, а именно земная ось составляетъ съ линіей TS, проходящею черезъ центры земли и солнца, уголъ въ 66^0 $33'$. Въ это время угловое разстояніе солнца отъ экватора будетъ наибольшее, а именно 23^0 $27'$. Если бы земля была шаромъ, пересѣченіе котораго съ плоскостью чертежа представляла бы кругъ $E'PQ'P'$, то равнодѣйствующая всѣхъ притяженій солнца на отдѣльныя частицы земли, вслѣдствіе симметричнаго положенія этихъ частицъ относительно прямой TS, прошла бы черезъ центръ T земли и не оказала бы никакого вліянія на вращеніе земли. Вслѣдствіе же сжатія земли получается другое явленіе. Въ виду симметричности обѣихъ половинъ земли относи-



Фиг. 229. Притяженіе солнца на экваторіальную выпуклость земли $EE'QQ$ производитъ уклоненіе земной оси по прямой TL, т. е. прецессію.

тельно плоскости PTS чертежа, каждой точкѣ одной половины будетъ соотвѣтствовать симметричная точка въ другой половинѣ: притяженія солнца на эти двѣ точки будутъ равны, и вслѣдствіе этого не произойдетъ никакого измѣненія во вращеніи земли около оси. Вліяніе на это вращеніе окажутъ лишь силы притяженія, дѣйствующія въ плоскости чертежа. Изъ этихъ послѣднихъ, по основаніямъ, подобнымъ предыдущимъ, окажутъ дѣйствіе на вращеніе земли лишь силы, дѣйствующія на выступы $PEP'E$ и $PQP'Q$. Притяженіе солнца на экваторіальный выступъ $PEP'E$, въ виду его большаго удаленія отъ солнца, будетъ меньше притяженія на выступъ $PQP'Q$. Вслѣдствіе этого земля получитъ стремленіе вра-

[23]) Равноденствіе — моментъ пересѣченія солнцемъ экватора; солнцестоянія — моменты наибольшаго удаленія солнца отъ экватора къ сѣверу (лѣтнее солнцестояніе) и югу (зимнее).

щаться около оси TR, т. е. плоскость экватора будетъ стремиться приблизиться къ плоскости эклиптики. Результатомъ этого, какъ мы только что показали на примѣрѣ волчка, явится отклоненіе земной оси въ плоскости PTR, перпендикулярной къ линіи TQ. Такое же явленіе происходитъ и во время зимняго солнцестоянія.

Во время равноденствій, когда солнце находится въ плоскости экватора, оно дѣйствуетъ симметрично на всѣ частицы земли и вслѣдствіе этого не оказываетъ никакого вліянія на вращеніе земли, т. е. въ это время прецессія равна нулю.

Такимъ образомъ, прецессія постепенно уменьшается отъ солнцестояній до равноденствій и, наоборотъ, увеличивается отъ равноденствій до солнцестояній.

Солнечная прецессія. 19. Описанное отступленіе земной оси подъ вліяніемъ дѣйствія солнца называется *солнечной прецессіей*. Вслѣдствіе перемѣщенія земной оси перемѣщается также и плоскость экватора, къ ней перпендикулярная. При движеніи плоскости экватора, очевидно, также передвигается навстрѣчу движенію земли или, что одно и то же, навстрѣчу видимому движенію солнца, линія равноденствій, т. е. линія пересѣченія плоскостей экватора и эклиптики.

Лунная прецессія. 20. Аналогичное солнечной прецессіи явленіе происходитъ вслѣдствіе того, что плоскость лунной орбиты наклонена къ плоскости экватора, но, хотя масса солнца въ 24300000 разъ больше массы луны, въ виду значительно меньшаго, въ 400 разъ, разстоянія отъ земли луны, чѣмъ солнца, *лунная прецессія* превышаетъ солнечную почти въ $2^1/_4$ раза, такъ какъ прецессія прямо пропорціональна массѣ свѣтила, производящаго прецессію, и обратно пропорціональна кубу его разстоянія отъ земли.

Лунная прецессія точно такъ же, какъ и солнечная, обращается въ нуль, когда луна находится въ плоскости экватора, и достигаетъ наибольшей величины, когда луна наиболѣе удалена отъ экватора.

Возмущенія, производимыя солнцемъ въ движеніи луны вокругъ земли, заставляютъ линію пересѣченія плоскости лунной орбиты и эклиптики, т. е. линію узловъ лунной орбиты (см. примѣч. 19), отступать въ плоскости эклиптики: ежегодное отступленіе линіи узловъ лунной орбиты равно 19° 20′, и такимъ образомъ линія узловъ совершаетъ полный оборотъ вокругъ земли въ 18,6 лѣтъ. Вслѣдствіе движенія лунныхъ узловъ ось, проходящая черезъ центръ земли и перпендикулярная къ плоскости лунной орбиты, описываетъ

около оси эклиптики въ 18,6 лѣтъ коническую поверхность, и, такимъ образомъ, разстояніе полюса лунной орбиты [24]) отъ полюса экватора измѣняется въ предѣлахъ отъ $23^0 27',5 + 5^0 8',7 = 28^0 36',2$ до $23^0 27',5 - 5^0 8',7 = 15^0 18',8$. Здѣсь $23^0 27'5$ и $5^0 8',7$ представляютъ соотвѣтственно наклонности экватора и лунной орбиты къ эклиптикѣ.

21. По причинѣ измѣненія какъ наклонности къ эклиптикѣ лунной орбиты, такъ и ея положенія относительно линіи равноденствій, отклоненіе земной оси не будетъ постоянно происходить въ направленіи касательной къ прецессіонному конусу, описываемому *около оси эклиптики; направленіе это будетъ измѣняться въ зависимости* отъ перемѣщенія оси лунной орбиты относительно осей эклиптики и земной. Въ зависимости отъ этого перемѣщенія земная ось будетъ описывать въ 18,6 лѣтъ около средняго своего движенія по прецессіонному конусу новый эллиптическій конусъ, пересѣченіе котораго съ небесною сферой представляется въ видѣ эллипса, большая ось котораго направлена къ полюсу эклиптики. Большая полуось этого эллипса равна $9'',22$, малая же—$6'',86$. Измѣненія въ положеніи земной оси, происходящія вслѣдствіе этого послѣдняго явленія, называются *нутаціею*. Нутаціею также называются всѣ отклоненія движенія земной оси отъ равномѣрнаго ея движенія по конусу прецессіи. **Нутація.**

Прецессію и нутацію легко наблюдать при вращеніи дѣтскаго волчка. Прецессія—это тѣ большія круговыя качанія, которыя дѣлаетъ неправильно пущенный (или толкнутый, когда ось его стоитъ неподвижно) волчекъ, нутація—это тѣ мелкія, едва замѣтныя дрожанія, которымъ подвержена ось волчка во время вращенія. Замѣтимъ, что здѣсь не одна только аналогія: вращеніе волчка и суточное вращеніе земли—явленія совершенно тождественныя; разница только количественная—въ величинѣ дѣйствующихъ силъ и въ періодахъ явленій,—здѣсь (у волчка) они измѣняются секундами и долями секунды,—при вращеніи же земного шара періодъ прецессіи 25868 лѣтъ, періодъ нутаціи 18,6 года.

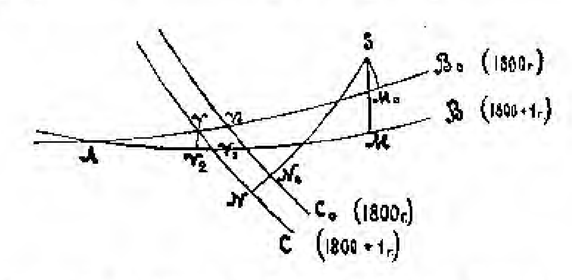
22. Въ предыдущемъ изложеніи мы предполагали, что эклиптика, т. е. плоскость движенія центра тяжести земли и луны вокругъ солнца, остается неподвижною въ пространствѣ. Въ дѣйствительности же эта плоскость, вслѣдствіе возмущеній, производимыхъ **Планетная прецессія.**

---

[24]) Полюсы лунной орбиты—точки пересѣченія перпендикуляра къ лунной орбитѣ съ безконечно удаленною небесною сферою; ось эклиптики—перпендикуляръ къ плоскости эклиптики (прямая pp'' на фиг. 233.—см. прим. 11).

планетами въ движеніи земли и луны, перемѣщается въ пространствѣ [25]), а именно: наклонность эклиптики, по отношенію къ нѣкоторому первоначальному ея положенію, уменьшается на 48″ въ столѣтіе. Въ зависимости отъ этого измѣненія наклонности эклиптики лунносолнечная прецессія уменьшается на незначительную величину, называемую *планетной прецессіей.*

Пусть на фиг. 230 AB_0 и $\Upsilon_0 C_0$ представляютъ пересѣченія плоскостей эклиптики и экватора съ небесной сферой въ году, принятомъ за первоначальный, напримѣръ въ 1800, AB и ΥC—пересѣченія съ тою же сферой плоскостей эклиптики и экватора черезъ t лѣтъ спустя, т. е. въ 1800 + t году. Отложимъ на линіи AB дугу $A\Upsilon_2$, равную $A\Upsilon$. Тогда дуга $\Upsilon\Upsilon_0$ представляетъ собою *луно-солнечную прецессію*, дуга $\Upsilon_2\Upsilon_1$—*планетную прецессію*, а $\Upsilon\Upsilon_0—\Upsilon_2\Upsilon_1$—такъ называемую *общую прецессію.*



Фиг. 230. Измѣненіе положенія небеснаго экватора у эклиптики и перемѣщеніе точки весенняго равноденствія подъ вліяніемъ прецессіи.

Струве и Петерсъ получили слѣдующія выраженія для прецессіи, для 1800 г.:

Луно-солнечная прецессія	$=\Upsilon\Upsilon_0$	$=50'',3798\,t-0,0001084\,t^2$ [26])
Общая „	$=\Upsilon\Upsilon_0-\Upsilon_2\Upsilon_1$	$=50'',2411\,t+0,0001134\,t^2$
Планетная „	$=\Upsilon_2\Upsilon_1$	$=0'',1387\,t-0,0002218\,t^2$

Вліяніе прецессіи на координаты. 23. Изъ той же фиг. 230 легко усматривается, какое вліяніе оказываетъ прецессія на координаты звѣзды S: долготу, широту, прямое восхожденіе и склоненіе. Если въ 1800 г. у звѣзды S долгота, широта, прямое восхожденіе и склоненіе [27]) измѣрялись соотвѣтственно дугами $\Upsilon_0 M_0$, SM_0, $\Upsilon_0 N_0$ и SN_0 то для той же звѣзды

[25]) См. „Развитіе Ньютон. теоріи“ II, 38.

[26]) По новѣйшимъ опредѣленіямъ Ньюкомба коэффиціентъ луно-солнечной прецессіи для 1850 г. равенъ 50″,3824.

[27]) См. „Астр. инстр. II, 40, 4 и 6.

въ $1800+t$ году эти координаты будутъ измѣряться дугами $\Upsilon_1 M$, SM, $\Upsilon_1 N$ и SN.

Такъ какъ вслѣдствіе прецессіи земная ось описываетъ около оси эклиптики коническую поверхность, то, слѣдовательно, полюсъ міра, т. е. пересѣченіе земной оси съ небесною сферой, описываетъ около полюса эклиптики окружность, каждая точка которой отстоитъ отъ полюса эклиптики на $23^0 27',5$. Слѣдствіемъ этого является то, что полярною звѣздой, т. е. наиболѣе близкою къ полюсу, поочередно бываютъ всѣ звѣзды, расположенныя вблизи окружности, описываемой вокругъ полюса эклиптики полюсомъ міра. Во время постройки египетскихъ пирамидъ полярною звѣздой была α Draconis, въ настоящее время—α Ursae minoris (полярная), а черезъ 11800 лѣтъ полярною звѣздой будетъ α Lyrae.

24. Въ заключеніе нашей статьи нельзя не обратить вниманія на то, какое блестящее подтвержденіе доставило открытіе и изслѣдованіе явленій аберраціи, прецессіи и нутаціи ученію Коперника о движеніи земли вокругъ солнца и ученію Ньютона о всеміриомъ тяготѣніи. **Подтвержденіе ученій Коперника и Ньютона.**

Аберрація, такъ сказать, проектируетъ на небесную сферу движенія земли вокругъ солнца и даетъ намъ возможность изъ движеній звѣздъ около ихъ среднихъ положеній по аберраціоннымъ кругамъ, эллипсамъ и прямымъ вывести заключеніе о геліоцентрическомъ движеніи земли (т. е. движеніи ея вокругъ солнца).

Точно также прецессія и нутація являются необходимымъ результатомъ закона всеміриаго тяготѣнія, такъ какъ къ необходимости этихъ явленій приводитъ математическій анализъ, приложенный къ изслѣдованію вліянія на вращеніе земли солнечнаго и луннаго притяженій, дѣйствующихъ по закону Ньютона.

А. Рыдзевскій.

Библіографія:

1. *Хандриковъ*, *М.* Описательная астрономія. Кіевъ. 1896 г. Аберрація, стр. 41—49. Прецессія и нутація, стр. 205—217. Наиболѣе полное элементарное изложеніе вопросовъ объ аберраціи, прецессіи и нутаціи на русскомъ языкѣ.

2. *Перевощиковъ*, *Д.* Теорія планетъ. Отдѣленіе пятое. О предвареніи равноденствій и колебанія земной оси, Спб. 1868. Введеніе представляетъ прекрасный очеркъ историческаго развитія теоріи прецессіи и нутаціи.

3. *Араго*, *Франсуа.* Общепонятная астрономія. Переводъ М. Хотинскаго, Спб. 1861 г. Томъ IV. Аберрація, стр. 306—336. Прецессія и нутація, стр. 72—78.

4. *Лапласъ.* Изложеніе системы міра. Переводъ М. Хотинскаго. Спб. 1861. Томъ II, стр. 148—159. Изложеніе механической теоріи прецессіи и нутаціи въ общедоступной формѣ.

5. *Гершель*, *Джонъ.* Очерки астрономіи. Переводъ Драшусова. М. 1862. Томъ II, стр. 33—39. Популярное изложеніе механической теоріи прецессіи и нутаціи.

6. *Ньюкомбъ*, *С.* и *Энгельманъ*, *Р.* Астрономія въ общепонятномъ изложеніи. Спб. 1896. Аберрація, стр. 222—226. Прецессія и нутація. стр. 15. 76—78. Сжатое изложеніе теорій аберраціи, прецессіи и нутаціи.

40. Астрономическіе инструменты.

1. Астрономическіе инструменты можно раздѣлить на двѣ группы. Одни изъ нихъ служатъ для опредѣленія положеній свѣтилъ на небесной сферѣ. При помощи этихъ инструментовъ астрономъ получаетъ данныя, которыя, послѣ математической ихъ обработки, даютъ возможность изслѣдовать какъ общіе законы, управляющіе движеніями небесныхъ свѣтилъ, такъ и подробности движенія каждаго небеснаго тѣла въ отдѣльности. Описаніемъ этихъ инструментовъ мы займемся въ настоящей статьѣ. Инструментовъ же второй группы, служащихъ для изученія физическаго строенія свѣтилъ, мы касаться не будемъ. Нѣкоторые изъ нихъ описаны въ соотвѣтствующихъ статьяхъ, трактующихъ о спектральныхъ изслѣдованіяхъ, о фотометріи, о фотографированіи неба и пр.

Два рода астрономическихъ инструментовъ.

Чтобы уяснить себѣ назначеніе и способъ примѣненія измѣрительныхъ инструментовъ, служащихъ для опредѣленія положенія свѣтилъ на небѣ, слѣдуетъ познакомиться сначала съ тѣми геометрическими величинами, которыми принято въ астрономіи опредѣлять эти положенія.

2. Въ безграничномъ и во всѣхъ своихъ частяхъ однообразномъ пространствѣ мы можемъ опредѣлить положеніе точки очевидно лишь въ томъ случаѣ, когда намъ извѣстно положеніе нѣкоторыхъ вполнѣ опредѣленныхъ поверхностей, линій или точекъ. Только по отношенію къ этимъ поверхностямъ, линіямъ или точкамъ, положеніе которыхъ мы считаемъ извѣстнымъ или даннымъ, можно опредѣлять положеніе другихъ интересующихъ насъ точекъ, линій или поверхностей. Такъ это и дѣлается въ геометріи и другихъ родственныхъ ей наукахъ. Совокупность тѣхъ поверхностей, линій и точекъ, къ которымъ мы относимъ положенія всѣхъ осталь-

О координатахъ вообще.

ныхъ точекъ пространства, называется *системою координатъ*. Геометрическія величины, опредѣляющія положеніе данной точки относительно какой-либо системы координатъ, называются *координатами* этой точки [1]).

Возможенъ безконечно разнообразный выборъ указанныхъ выше постоянныхъ поверхностей, линій или точекъ. Это могутъ быть только поверхности (въ частномъ случаѣ плоскости), только линіи (въ частности—прямыя), только точки, или же—совокупность тѣхъ, другихъ и третьихъ, различныя комбинаціи между ними. Но, конечно, при рѣшеніи различныхъ математическихъ вопросовъ всегда стараются такъ выбрать систему координатъ, чтобы данный вопросъ рѣшался по возможности удобно и просто. Этимъ соображеніемъ руководствовались и астрономы при выборѣ системъ астрономическихъ координатъ, и мы увидимъ, что астрономическія координаты очень удобны для примѣненія ихъ при практическихъ работахъ.

Такимъ образомъ, методъ опредѣленія положеній небесныхъ свѣтилъ при помощи астрономическихъ координатъ есть частный случай общаго метода координатъ, имѣющаго широкое примѣненіе въ геометріи и механикѣ. Однако, не слѣдуетъ думать, что первый выработался изъ второго. Какъ разъ наоборотъ: астрономическія координаты, почти въ томъ же видѣ, какъ и теперь, употреблялись еще древними астрономами, какъ напримѣръ, „отцомъ астрономіи" Гиппархомъ за 120 лѣтъ до Р. Х., его послѣдователемъ Птоломеемъ во II в. по Р. Х. [2]) и другими, между тѣмъ общій методъ геометрическихъ координатъ былъ выработанъ Декартомъ (René Descartes или Cartesius, 1596—1650) и обнародованъ лишь въ 1637 году.

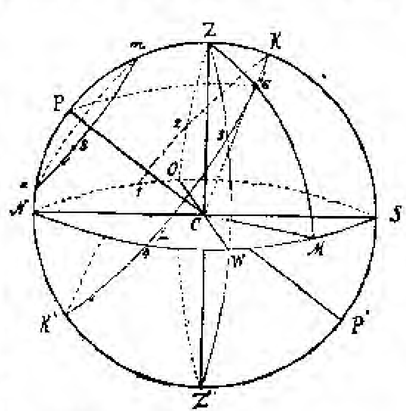
Система горизонта. 3. Хотя не самая удобная и простая, но безъ сомнѣнія первая по времени изобрѣтенія, система координатъ—это *горизонтальная*. За одну изъ основныхъ поверхностей этой системы принимается *плоскость горизонта* въ данномъ мѣстѣ наблюденія. Идея относить положенія свѣтилъ къ плоскости горизонта представляется сама собою каждому наблюдателю при первомъ взглядѣ на небо. Зародышъ этой идеи кроется уже въ самыхъ обыденныхъ нашихъ выраженіяхъ, каковы напримѣръ: солнце „восходитъ", луна „высоко" на небѣ, эта звѣзда „выше" той и т. п.

---

[1]) См. „Основн. понятія и методы математики" I, 1, V глава.

[2]) См. „Греч. астрономія" II, 35, 3, 4 и 5.

Плоскостью горизонта называется плоскость, касательная къ земной поверхности въ данномъ мѣстѣ наблюденія. Пусть C (фиг. 231) есть точка, гдѣ находится наблюдатель, NS—плоскость горизонта. Вообразимъ сферическую поверхность, проходящую черезъ нѣкоторое свѣтило σ, съ центромъ въ точкѣ наблюденія C. Эта сфера пересѣчетъ плоскость горизонта по большому кругу $NOSW$. Вообразимъ далѣе вертикальную прямую ZCZ' въ точкѣ наблюденія (перпендикуляръ къ плоскости горизонта); эта вертикаль пересѣчетъ сферу въ точкахъ Z и Z'; точку Z зовутъ *зенитомъ* даннаго мѣста C, точку Z'—*надиромъ*. Проведемъ черезъ вертикаль ZZ' и данное свѣтило σ плоскость $Z\sigma MC$. Эта вертикальная плоскость, перпендикулярная къ плоскости горизонта, сѣчетъ сферу по большому кругу $Z\sigma M$ и плоскость горизонта—по прямой CM. Кругъ $Z\sigma M$ называется *кругомъ высоты* свѣтила.



Фиг. 231. Горизонтальныя координаты.

Уголъ $\sigma CM = h$, которымъ характеризуется положеніе луча зрѣнія $C\sigma$ относительно горизонта, называется *высотою* свѣтила. Это — первая координата. Вторая координата должна опредѣлить положеніе самой плоскости $Z\sigma MC$. Мы могли бы любую вертикальную плоскость, напримѣръ, плоскость, проходящую чрезъ какой-нибудь неподвижный земной предметъ (шпиль отдаленной колокольни),—принять за вторую основную плоскость нашей системы и относительно этой, произвольно выбранной плоскости, опредѣлять положеніе вертикальныхъ круговъ, проходящихъ чрезъ небесныя свѣтила. Но сама природа даетъ въ этомъ случаѣ намъ вполнѣ опредѣленную и неизмѣнную вертикальную плоскость, къ которой очень удобно относить положеніе всѣхъ остальныхъ вертикальныхъ плоскостей. Это—*плоскость меридіана* даннаго мѣста.

Какъ извѣстно, небесныя свѣтила не остаются въ теченіе сутокъ неподвижными. Всѣ они движутся слѣва направо, восходятъ въ восточной части горизонта и заходятъ въ западной. Во время этого движенія свѣтила не перемѣщаются относительно другъ друга, взаимныя угловыя разстоянія ихъ не мѣняются. Весь сводъ небесный движется, какъ одно цѣлое, вращаясь вокругъ нѣкоторой при-

мой, называемой *осью міра* (PP' на фиг. 231). Двѣ точки пересѣченія оси міра съ небесною сферою зовутся *полюсами міра*, одинъ сѣвернымъ (P), другой южнымъ (P'). Надъ нашимъ горизонтомъ (надъ горизонтомъ всѣхъ мѣстностей сѣвернаго полушарія земли) лежитъ сѣверный полюсъ міра. Онъ находится около звѣзды α созвѣздія Ursae minoris (Малой Медвѣдицы), почему эта звѣзда и называется часто Polaris (полярная). Всѣ свѣтила описываютъ на небесномъ сводѣ вокругъ полюса міра малые круги, называемые *параллельными кругами* или *параллелями*; плоскости параллельныхъ круговъ перпендикулярны къ оси міра.

Плоскость, проходящая черезъ мѣсто наблюденія, его зенитъ и полюсъ міра—есть *плоскость меридіана* даннаго мѣста. Она пересѣкаетъ небесную сферу по большому кругу $ZSP'ZNP$, который называется *небеснымъ меридіаномъ* и дѣлитъ сферу на двѣ половины—восточную и западную. Ось міра лежитъ въ плоскости меридіана и слѣдовательно эта плоскость дѣлитъ пополамъ всѣ параллели. Она дѣлитъ пополамъ также кругъ горизонта. Прямая NS, по которой пересѣкаются плоскости меридіана и горизонта, называется *полуденною линіей* или *земнымъ меридіаномъ*. N есть точка сѣвера, S точка юга; точки, лежащія на 90^0 отъ N и S, называются: O—востокомъ, W—западомъ. Точки O и W опредѣляютъ прямую OW, перпендикулярную къ полуденной линіи; это—прямая пересѣченія съ горизонтомъ плоскости большого круга $ZWZ'O$, называемаго *первымъ вертикаломъ*.

Положеніе круга высоты даннаго свѣтила относительно плоскости меридіана опредѣляется двуграннымъ угломъ $SZCM$. Мѣрой этого двуграннаго угла служитъ плоскій уголъ $SCM=A$, который называется *азимутомъ* свѣтила. Замѣтимъ, что сферическій уголъ SZM, составляемый при точкѣ Z дугами меридіана и круга высоты (точнѣе—уголъ между касательными къ этимъ дугамъ въ точкѣ Z) равенъ азимуту SCM. Азимутъ—вторая координата при горизонтальной системѣ.

Высоты отсчитываются отъ горизонта кверху до зенита (слѣдовательно высота зенита—90^0). Часто вмѣсто высоты вводятъ въ вычисленіе *зенитное разстояніе* свѣтила. Зенитное разстояніе z, есть уголъ, дополняющій высоту до 90^0, напримѣръ зенитное разстояніе свѣтила σ есть $\angle ZC\sigma=z=90^0-h$. Зенитныя разстоянія отсчитываются отъ зенита внизъ до 90^0. Азимуты считаютъ отъ точки юга S къ западу, т. е. по направленію суточнаго вращенія неба, отъ 0^0 до 360^0, обходя весь кругъ горизонта. Иногда отсчи-

тываютъ азимуты отъ точки юга въ обѣ стороны къ W и O до 180°, при чемъ приходится восточнымъ азимутамъ приписыватъ отрицательный знакъ, что менѣе удобно.

Высотою $h = \angle MC\sigma$ и азимутомъ $A = \angle SCM$ вполнѣ опредѣляется положеніе луча зрѣнія $C\sigma$, направленнаго къ свѣтилу. Чтобы положеніе свѣтила въ пространствѣ вполнѣ было опредѣлено, слѣдуетъ еще знать разстояніе его отъ мѣста наблюденія C, т. е. длину прямой $C\sigma$ [3]). Но мы не имѣемъ никакой возможности непосредственно измѣрить это разстояніе и потому довольствуемся лишь двумя координатами. Подобно тому, какъ обыкновенный созерцатель неба, не будучи въ состояніи на глазъ оцѣнить, какія свѣтила ближе къ нему, какія дальше, считаетъ, что всѣ они находятся на одинаковомъ, чрезвычайно большомъ разстояніи и какъ бы прикрѣплены къ небесной сферѣ,—такъ и астрономъ проэктируетъ небесныя тѣла на нѣкоторую воображаемую сферу безконечно большого радіуса и, опредѣляя астрономическими координатами *лишь* направленія лучей зрѣнія, разсматриваетъ такимъ образомъ только взаимныя положенія свѣтилъ на воображаемой небесной сферѣ и положенія ихъ относительно нѣкоторыхъ вполнѣ опредѣленныхъ большихъ круговъ этой сферы. Для опредѣленія же разстоянія какого-нибудь свѣтила отъ мѣста наблюденія (вообще отъ земли), другими словами—для опредѣленія третьей координаты $C\sigma = r$ или такъ называемаго *радіуса вектора*, недостаточно единственнаго наблюденія въ одной точкѣ земной поверхности. Для этого существуютъ другіе пріемы, иногда искусственные и сложные. Объ этомъ мы еще упомянемъ на слѣдующихъ страницахъ, а пока закончимъ рѣчь о горизонтальныхъ координатахъ, т. е. объ азимутѣ и высотѣ.

Свѣтила движутся суточнымъ движеніемъ. Они вращаются вокругъ оси міра. Слѣдовательно, азимутъ и высота каждаго свѣтила непрерывно мѣняются. Разсмотримъ движеніе нашего свѣтила σ по его параллели KK'. Въ моментъ восхода свѣтила въ точкѣ (1) его высота 0°, зенитное разстояніе 90°, азимутъ измѣряется дугою $SMWN(1)$. Для свѣтилъ, не имѣющихъ быстраго поступательнаго движенія по небесной сферѣ, а лишь суточное вращеніе, каковы всѣ неподвижныя звѣзды,—этотъ азимутъ точки восхода есть величина постоянная. Онъ не мѣняется съ временами года

---

[3]) Для полнаго опредѣленія точки въ пространствѣ при какой угодно системѣ координатъ всегда нужны 3 координаты,—это необходимое слѣдствіе трехмѣрности пространства.

(какъ напр., для солнца), ни съ теченіемъ лѣтъ [1]). Взойдя надъ горизонтомъ, свѣтило поднимается, высота его увеличивается, зенитное разстояніе уменьшается, азимутъ возрастаетъ. Достигнувъ высшей точки K на небѣ, оно вступаетъ на меридіанъ. Этотъ важный моментъ называется моментомъ *верхней кульминаціи* свѣтила. Тогда высота его наибольшая, зенитное разстояніе—наименьшее, азимутъ 360^0 или, что все равно, 0^0. Затѣмъ свѣтило опускается и въ моментъ захода въ токѣ (4) опять $h=0^0, z=90^0$; азимутъ точки захода измѣряется дугою SW *(4)*, при чемъ SW *(4)=* *=(1)OS*. Послѣ того свѣтило спускается подъ плоскость горизонта, зенитное разстояніе его больше 90^0. Подъ плоскостью горизонта оно еще разъ переходитъ (въ точкѣ K') черезъ меридіанъ. Это – *нижняя кульминація*. Если свѣтило, (напр., звѣзда s) близко къ полюсу, такъ что вся его суточная параллель mn лежитъ надъ горизонтомъ наблюдателя, то обѣ кульминаціи верхняя и нижняя могутъ быть наблюдаемы.

Часто бываетъ полезно отмѣтить еще важные моменты въ суточномъ движеніи свѣтила, —моменты прохожденія черезъ первый вертикалъ въ точкахъ (2) и (3), для чего въ нѣкоторыхъ обсерваторіяхъ имѣются спеціально установленные инструменты. Въ эти моменты азимуты свѣтила суть 270° и 90° и введеніе ихъ въ вычисленіе облегчаетъ рѣшеніе нѣкоторыхъ задачъ практической астрономіи. Очевидно, такого прохожденія нельзя наблюдать для свѣтилъ, угловое разстояніе которыхъ отъ полюса меньше угла PCZ, а также для тѣхъ, у которыхъ азимутъ точки захода меньше 90°,—первыя совсѣмъ не проходятъ чрезъ плоскость OZW, вторыя въ это время скрыты подъ горизонтомъ (какъ дальше увидимъ, это суть свѣтила южной полусферы неба).

Экваторіальныя координаты.

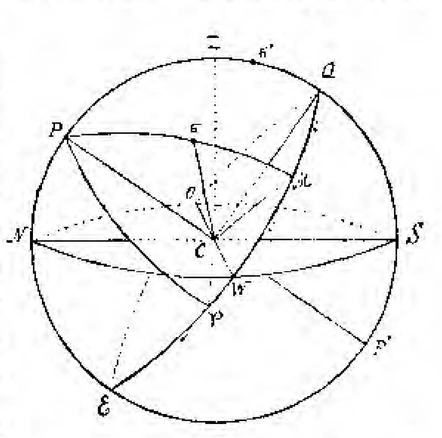
4. Такъ какъ азимутъ и высота — величины перемѣнныя, то ими нельзя опредѣлять относительнаго расположенія предметовъ на небесной сферѣ, — нельзя ими, напримѣръ, воспользоваться для составленія карты неба. Другая употребляющаяся въ астрономіи система координатъ не имѣетъ этого недостатка. Это *экваторіальная система*.

Пусть на фиг. 232, какъ и прежде, C—мѣсто наблюденія, PP' ось міра. Проводимъ черезъ данное свѣтило σ сферу. Вообразимъ плоскость EQ, проходящую черезъ точку C и перпендикулярную

[1]) Вліяніе собственнаго движенія звѣзды и измѣненія положенія полюса міра обнаруживается только черезъ сотни и тысячи лѣтъ.

къ оси міра PP'. Она называется *плоскостью экватора* и дѣлитъ небесную сферу на двѣ половины,—сѣверную и южную. Большой кругъ EQ—сѣченіе плоскости экватора съ небесною сферою—называется *небеснымъ экваторомъ*. Плоскость экватора пересѣкаетъ плоскость горизонта NS по прямой OW. Прямая OW перпендикулярна къ полуденной линіи NS,—слѣдовательно прямая OW здѣсь та же, что прямая OW на фиг. 231, т. е. O—точка востока, W—точка запада.

Чтобы опредѣлить положеніе свѣтила σ относительно экватора, вообразимъ плоскость, проходящую чрезъ ось міра и свѣтило σ. Сѣченіе этой плоскости со сферой есть такъ называемый *кругъ склоненій* $P\sigma M$. Угловое разстояніе свѣтила отъ экватора, т. е. уголъ $\sigma CM=\delta$, измѣряемый дугою σM, называется *склоненіемъ*. Склоненіе отсчитывается отъ экватора къ полюсу отъ 0° до 90°. Если свѣтило находится въ южной полусферѣ, то склоненіе отсчитывается отъ экватора къ южному полюсу P'; оно называется тогда южнымъ склоненіемъ, вводится въ вычисленія съ отрицательнымъ знакомъ и можетъ имѣть всѣ величины отъ 0° до —90°. Угловое разстояніе свѣтила отъ полюса, т. е. уголъ $PC\sigma$, зовется *полярнымъ разстояніемъ*. Очевидно, полярное разстояніе + склоненіе = 90°, и зная одно, мы знаемъ и другое. Склоненіе во время суточнаго движенія не мѣняется, такъ какъ свѣтило описываетъ параллель, всѣ точки которой находятся въ одинаковомъ разстояніи отъ экватора (самъ экваторъ есть наибольшая изъ параллелей).



Фиг. 232. Система экваторіальныхъ координатъ.

Положеніе плоскости круга склоненій $P\sigma M$ опредѣляется двоякимъ образомъ. Двугранный уголъ $QPCM$ этой плоскости съ меридіаномъ называется *часовымъ угломъ*. Этотъ двугранный уголъ измѣряется плоскимъ угломъ $QCM=t$ или, все равно, дугою QM, отсчитываемою по экватору отъ меридіана къ западу. Онъ во время суточнаго движенія мѣняется отъ 0° до 360°.

Далѣе, двугранный уголъ $MPC\Upsilon$ между плоскостью круга склоненій и плоскостью $PC\Upsilon$, проходящею черезъ нѣкоторую точку Υ,

называется *прямымъ восхожденіемъ* свѣтила. Этотъ двугранный уголъ измѣряется плоскимъ угломъ $\Upsilon CM = AR$ [5]) или, что все равно, дугою ΥM. Прямое восхожденіе для разныхъ свѣтилъ имѣетъ всѣ величины отъ 0° 360° и отсчитывается по экватору отъ точки Υ противъ суточнаго движенія, т. е. отъ запада къ востоку. Значеніе точки Υ объяснится впослѣдствіи; теперь скажемъ только, что она лежитъ на экваторѣ, занимаетъ вполнѣ опредѣленную точку неба и движется въ суточномъ вращеніи вмѣстѣ съ небомъ. Слѣдовательно, прямое восхожденіе въ теченіе сутокъ не мѣняется

Склоненіе δ и прямое восхожденіе AR суть экваторіальныя координаты (третья координата—радіусъ векторъ $C\sigma = r$, какъ и прежде, остается неопредѣленною). Суточное движеніе на эти координаты вліянія не имѣетъ, а потому, зная экваторіальныя координаты звѣзды, мы можемъ нанести ее на небесную карту. Небесныя или звѣздныя карты по общему виду подобны географическимъ картамъ. Небесная градусная сѣть состоитъ изъ небеснаго экватора и параллелей, которымъ на земной картѣ соотвѣтствуютъ земной экваторъ и земныя параллели. Перпендикулярно къ параллелямъ и экватору на звѣздной картѣ проводятся круги склоненій, которые всѣ пересѣкаются въ полюсахъ,—круги склоненій вполнѣ аналогичны земнымъ меридіанамъ географической карты. Роль перваго меридіана на землѣ играетъ на небесной картѣ главный изъ круговъ склоненій,—именно тотъ, который проходитъ черезъ точку Υ. Очевидно, склоненіе на небѣ аналогично географической широтѣ на землѣ; прямое восхожденіе аналогично географической долготѣ.

Обратимъ теперь вниманіе на часовой уголъ. Между часовымъ угломъ и прямымъ восхожденіемъ существуетъ очень простая зависимость. Очевидно, $\angle\Upsilon CM + \angle MCQ = \angle\Upsilon CQ$, или $AR + t = \Theta$, гдѣ $\Theta = \angle\Upsilon CQ$ есть часовой уголъ точки Υ, отъ которой ведется счетъ прямыхъ восхожденій.

Звѣздное время. 5. Разсмотримъ, какое значеніе имѣетъ уголъ Θ, т. е. часовой уголъ точки Υ. Вся небесная сфера, какъ мы видѣли, обращается вокругъ оси міра, какъ одно цѣлое. Вращеніе это вполнѣ равномѣрно; періодъ одного полнаго оборота —величина постоянная. При тщательномъ изслѣдованіи наблюденій древнихъ александрійскихъ астрономовъ и сравненіи ихъ съ современными наблюденіями, найдено, что за двѣ тысячи лѣтъ періодъ полнаго суточнаго оборота

---

5) Лат. Ascensio Recta=прямое восхожденіе Замѣтимъ еще, что $\angle\Upsilon PM = \angle\Upsilon CM = AR$ и также $\angle MPQ = \angle MCQ = t$.

небесной сферы не измѣнился даже на малую долю секунды. Этотъ неизмѣнный періодъ одного полнаго оборота неба называютъ *звѣздными сутками*. Звѣздныя сутки дѣлятся на 24 *звѣздныхъ* часа, часъ на 60 минутъ, минута на 60 секундъ. Необходимая принадлежность каждой обсерваторіи — часы, идущіе по *звѣздному времени*. Циферблатъ такихъ часовъ раздѣленъ на 24 части, маятникъ отбиваетъ звѣздныя секунды, минутная стрѣлка дѣлаетъ полный оборотъ въ одинъ звѣздный часъ, часовая — въ одни звѣздныя сутки, указывая послѣ 12-ти часовъ — 13, 14, 15... и т. д. до 24-хъ. За начало звѣздныхъ сутокъ принимается прохожденіе черезъ меридіанъ точки ♈. Когда кульминируетъ точка ♈, часы, идущіе по звѣздному времени, показываютъ 24^h или, что все равно, $0^h\ 0^m\ 0^s$.

Небесная сфера дѣлаетъ одинъ полный оборотъ, т.-е. повертывается на 360°, въ 24 звѣздныхъ часа. Слѣдовательно, въ 1 звѣздный часъ она дѣлаетъ $^1/_{24}$ часть оборота, т.-е. 15°, въ 1 звѣздную минуту — 15′, въ одну звѣздную секунду — 15″ [6]). Точка ♈ вращается вмѣстѣ съ небомъ; она также проходитъ въ 1^h — 15°, въ 1^m—15′, въ 1^s—15″. Если, напримѣръ (фиг. 232), точка ♈ ушла отъ меридіана на 120°, т.-е. если $\angle$♈$CQ = \Theta = 120°$, то со времени кульминаціи точки ♈ прошло 120 : 15 = 8 часовъ. Но въ моментъ кульминаціи точки ♈ начинаются звѣздныя сутки и часы показываютъ $0^h\ 0^m\ 0^s$, — слѣдовательно, когда точка ♈ ушла отъ меридіана на 15°, звѣздное время есть 1^h, когда $\angle$♈$CQ = 120°$, часы показываютъ 8^h и т. д. Такимъ образомъ, часовой уголъ $\Theta = \angle$♈CQ точки ♈, выраженный въ часахъ, минутахъ и секундахъ есть *звѣздное время*.

Теперь обратимъ вниманіе на какую-нибудь звѣзду σ' въ моментъ ея кульминаціи, т.-е. прохожденія черезъ меридіанъ. Въ этотъ моментъ прямое восхожденіе звѣзды есть уголъ ♈CQ, измѣряемый дугою ♈WQ. Но этотъ уголъ есть въ то же время и часовой уголъ точки ♈, т.-е. звѣздное время Θ. Итакъ, *въ моментъ кульминаціи звѣзды ея прямое восхожденіе равно звѣздному времени*. То же получимъ, положивши $t = 0$ въ нашемъ равенствѣ $AR + t = \Theta$, такъ какъ въ моментъ кульминаціи часовой уголъ звѣзды — нуль; равенство въ этомъ случаѣ дастъ $AR + 0 = \Theta$ или $\Theta = AR$. Изъ этого слѣдуетъ, что, наблюдая моментъ кульминаціи звѣзды, прямое восхожденіе которой хорошо извѣстно, мы можемъ

---

[6]) Принято обозначать часы, минуты, секунды времени черезъ ^{h}, ^{m}, ^{s}; градусы, минуты, секунды угла или дуги — черезъ °, ′, ″.

повѣрить часы, и обратно, замѣтивъ по часамъ моментъ кульминаціи звѣзды, мы опредѣляемъ ея прямое восхожденіе, если оно неизвѣстно. Взглянувъ на часы, идущіе по звѣздному времени, астрономъ видитъ, какія звѣзды кульминируютъ въ это время, къ какимъ наблюденіямъ онъ долженъ готовиться. Пусть, напримѣръ, часы показываютъ $13^h\ 25^m\ 47^s$ звѣзднаго времени; переводя время въ дугу, получаемъ $201^\circ\ 26'\ 45''$; слѣдовательно въ данный моментъ времени кульминируютъ звѣзды съ прямымъ восхожденіемъ $AR = 201^\circ\ 26'\ 45''$; остается развернуть звѣздную карту и посмотрѣть, какія это звѣзды и каковъ вообще въ это время видъ неба надъ горизонтомъ наблюдателя.

На практикѣ это дѣлается даже еще проще. Именно, прямое восхожденіе свѣтилъ и на небесныхъ картахъ, и въ астрономическихъ календаряхъ выражается обыкновенно не въ градусахъ, минутахъ и секундахъ дуги, а прямо въ часахъ, минутахъ и секундахъ времени. Такъ, напримѣръ, прямое восхожденіе звѣзды α Canis Maioris (Сиріуса) $AR = 6^h\ 40^m\ 44^s$ (для 1900 года); это значитъ, что Сиріусъ проходитъ черезъ меридіанъ въ $6^h\ 40^m\ 44^s$ звѣзднаго времени, что его прямое восхожденіе въ градусахъ есть $AR = 100^\circ\ 11'$. Такимъ образомъ, при обычныхъ наблюденіяхъ нѣтъ надобности постоянно переводить время въ дугу и обратно; такое превращеніе дѣлается лишь въ томъ случаѣ, если данный уголъ, выраженный во времени, надо ввести въ вычисленіе.

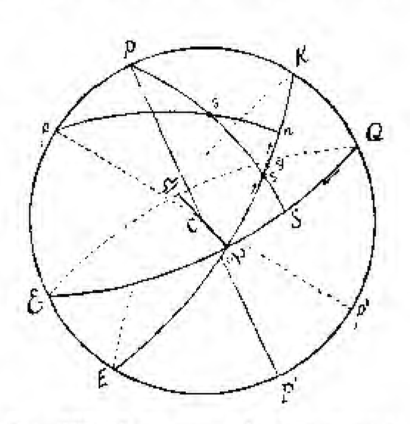
Среднее время. Эклиптическія координаты.

6. Представляя, какъ видитъ читатель, большія удобства при астрономическихъ наблюденіяхъ, звѣздное время негодно для употребленія въ обычной жизни. Звѣздныя сутки короче обыкновенныхъ (среднихъ или гражданскихъ) сутокъ на $3^m\ 55^s,9094112$ обыкновеннаго (средняго) времени. Поэтому звѣздныя сутки начинаются въ различные дни года не въ одно и то же время дня, — начало ихъ приходится то утромъ, то днемъ, то вечеромъ, то ночью. Посмотримъ же теперь, что такое *среднее время*, а кстати попутно выяснимъ значеніе точки ♈ и упомянемъ о третьей системѣ астрономическихъ координатъ.

Солнце не стоитъ неподвижно на небѣ. Кромѣ суточнаго вращенія общаго всѣмъ небеснымъ свѣтиламъ, оно имѣетъ еще поступательное движеніе между звѣздами. Оно перемѣщается по небу, проходя въ сутки отъ запада къ востоку около 1° дуги (среднимъ числомъ $59',\ 8'',33$), и дѣлаетъ полный оборотъ въ 1 годъ. Если ежедневно въ теченіе года наносить на звѣздную карту или на небесный глобусъ положеніе солнца между звѣздами, опредѣляя

изъ наблюденій его склоненія и прямыя восхожденія, то окажется, что путь солнца на небесной сферѣ есть большой кругъ, пересѣкающій небесный экваторъ въ двухъ діаметрально противоположныхъ точкахъ, и наклоненный къ экватору подъ угломъ около 23° 27′. Этотъ кругъ видимаго годичнаго пути солнца между звѣздами зовутъ *эклиптикой*.

Пусть на фиг. 233 EQ — небесный экваторъ, PP' — ось міра, EK — эклиптика. Эклиптика пересѣкаетъ экваторъ въ точкахъ ♈ и ♎ (это древнія обозначенія знаковъ зодіака; ♈ — знакъ Овна, ♎ — знакъ Вѣсовъ). Солнце движется по эклиптикѣ съ запада на востокъ; оно дважды въ году пересѣкаетъ экваторъ, — въ точкахъ ♈ и ♎; въ это время на всей землѣ день бываетъ равенъ ночи, а потому точки ♈ и ♎ зовутся *точками равноденствій*. Въ точкѣ ♈ солнце бываетъ 21 марта (новаго стиля), и пройдя ее, вступаетъ въ сѣверную полусферу неба; съ этого момента въ сѣверномъ полушаріи земли начинается весна; поэтому ♈ есть *точка весенняго равноденствія*; точно такъ же ♎, гдѣ солнце бываетъ 22 сентября, есть *точка равноденствія осенняго*.



Фиг. 233. Эклиптическія координаты.

Плоскость эклиптики служитъ основною въ третьей системѣ астрономическихъ координатъ. Вообразимъ въ точкѣ наблюденія C перпендикуляръ pp' къ плоскости эклиптики; онъ пересѣкаетъ небесную сферу въ точкахъ p и p' — *полюсахъ эклиптики*, при чемъ $\angle PCp = \angle K♈Q = \varepsilon = 23° 27'$. Вообразимъ большой кругъ pon, проходящій черезъ сѣверный полюсъ эклиптики p и звѣзду o. Тогда *эклиптическими координатами* звѣзды o будутъ дуга *on* — *широта* и дуга ♈*n* — *долгота*. Замѣтимъ, что это *астрономическія долгота и широта*, не имѣющія ничего общаго съ долготою и широтою географическими (этимъ послѣднимъ, какъ мы видѣли, вполнѣ соотвѣтствуютъ прямое восхожденіе и склоненіе). Этого краткаго замѣчанія объ эклиптическихъ координатахъ для насъ достаточно, такъ какъ онѣ не опредѣляются непосредственно изъ наблюденій, и инструментовъ для прямого опредѣленія астрономической долготы и широты — не существуетъ.

Переходимъ къ выясненію понятія о *среднихъ суткахъ*, кото-

рыми мы обычно измѣряемъ время. При суточномъ движеніи, общемъ со всѣмъ небомъ, солнце, какъ и всякое свѣтило, дважды проходитъ черезъ меридіанъ каждаго мѣста наблюденія. Моментъ верхней кульминаціи солнца называется *истиннымъ полуднемъ*, моментъ кульминаціи нижней (подъ горизонтомъ)—*истинною полуночью*, промежутокъ времени между двумя верхними кульминаціями солнца—*истинными солнечными сутками*. Солнце движется по эклиптикѣ неравномѣрно; эклиптика наклонена къ экватору на уголъ $\varepsilon = 23^\circ\ 27'$; вслѣдствіе этихъ двухъ причинъ истинныя солнечныя сутки — величина непостоянная; они въ разные дни года имѣютъ различную длину, и разница между наибольшею и наименьшею ихъ величиною можетъ доходить до получаса. Вслѣдствіе большихъ неудобствъ, сопряженныхъ съ измѣреніемъ времени перемѣнною величиною, были изобрѣтены и введены въ употребленіе (въ Парижѣ въ 1816 году) *среднія солнечныя сутки*. Величину среднихъ сутокъ получимъ, раздѣливши время одного полнаго оборота солнца по эклиптикѣ (точный промежутокъ времени между моментами двухъ весеннихъ равноденствій, выраженный, напр., въ звѣздныхъ секундахъ) — на число суточныхъ оборотовъ (и долей оборота) солнца за этотъ же промежутокъ времени. Очевидно, что число какъ среднихъ, такъ и истинныхъ сутокъ въ году совершенно одинаково.

Средній полдень совпадаетъ съ истиннымъ 4 раза въ году: 15 апр., 14 іюня, 31 авг. и 24 декабря (новаго стиля). Въ остальные дни года — то истинный полдень случается раньше средняго, то средній раньше истиннаго. Промежутокъ времени между истиннымъ и среднимъ полуднями называется *уравненіемъ времени* и дается въ астрономическихъ календаряхъ на каждый день года. Оно дается также и въ нѣкоторыхъ гражданскихъ календаряхъ, напримѣръ, въ дешевомъ и распространенномъ „Крестномъ“ календарѣ (на обложкѣ, подъ именемъ „поправка часовъ“). Пользоваться таблицею слѣдуетъ такимъ образомъ. Опредѣляется моментъ истиннаго полудня соотвѣтствующимъ астрономическимъ инструментомъ (простѣйшій изъ нихъ — солнечные часы), придается по таблицѣ къ 12 часамъ поправка, соотвѣтствующая данному дню года, и обыкновенные (средніе) часы устанавливаются на получившееся число часовъ и минутъ. Такъ, напримѣръ: для 12 февраля (нов. ст.) уравненіе времени $+14^m 31^s$ (наибольшая въ году положительная поправка), слѣдовательно, въ моментъ истиннаго полудня наши обыкновенные часы должны показывать $12^h\ 14^m\ 31^s$, уравненіе времени 2 ноября (нов. ст.) $-16^m\ 18^s$ (наибольшая въ году отрицательная поправка),—

стало-быть, въ моментъ истиннаго полудня часы слѣдуетъ поставить на $11^h\ 43^m\ 42^s$ и т. п. Таблица уравненія времени для различныхъ годовъ различна, хотя разницы и весьма малы (зависятъ отъ возмущеній [7]) въ годичномъ движеніи земли).

Часы, идущіе по среднему времени, — такая же необходимая принадлежность астрономической обсерваторіи, какъ и звѣздные часы. Назначеніе тѣхъ и другихъ различно. Звѣздные часы неуклонно слѣдятъ за вращеніемъ звѣздного неба; ихъ часовая стрѣлка вполнѣ соотвѣтствуетъ прямой $C\Upsilon$ на фиг. 232 и 233, т. е. радіусу-вектору точки весенняго равноденствія. Часовая стрѣлка въ каждый моментъ времени точно указываетъ положеніе прямой $C\Upsilon$ относительно плоскости меридіана. Между тѣмъ, средніе часы служатъ для обыкновеннаго счета времени, для счисленія часовъ, дней и мѣсяцевъ.

Хотя одно и то же среднее время употребляется въ астрономіи и въ гражданской жизни, однако счетъ его тамъ и здѣсь нѣсколько различенъ. Астрономическія наблюденія производятся преимущественно ночью. Неудобно было бы во время наблюденія переходить отъ одного числа мѣсяца къ другому и въ полночь начинать счетъ времени съ нуля. Это усложнило бы и вычисленія. Поэтому астрономы начинаютъ сутки не съ полуночи, а съ полудня, при чемъ до полуночи оба счета—астрономическій и гражданскій — совпадаютъ, а послѣ полуночи № гражданскаго числа мѣсяца единицей больше. Кромѣ того, астрономы считаютъ часы отъ 0 до 24, не дѣля сутокъ на двѣ половины, и числа — по новому стилю, какъ болѣе правильному. Такъ, напримѣръ, 10 час. утра 31 января 1897 г., по гражданскому счету, у астрономовъ будетъ $22^h \frac{30 \text{ января}}{11 \text{ февраля}}$ 1897 г.

Возвратимся къ выясненію зависимости между средними сутками и звѣздными. Замѣтимъ, что на нашей фиг. 233 кругъ $PQP'E$ не меридіанъ, какъ на фиг. 231 и 232; это—кругъ, плоскость котораго перпендикулярна къ прямой $C\Upsilon$. Пусть же меридіанъ будетъ PaS т. е. S—точка юга). Пусть нѣкоторая звѣзда σ и солнце s имѣютъ одинаковое прямое восхожденіе ΥS и оба свѣтила въ данный моментъ кульминируютъ. Ровно черезъ 24 звѣздныхъ часа звѣзда σ вновь придетъ на меридіанъ, между тѣмъ какъ за протекшія звѣздныя сутки солнце, вслѣдствіе собственнаго движенія, успѣло отсту-

---

7) См. „Развитіе Ньют. т." II, 38.

пить по эклиптикѣ на дугу ss' и ему надо еще нѣкоторые время, чтобы вступить на меридіанъ. Въ слѣдующіе дни солнце будетъ запаздывать все болѣе и болѣе въ сравненіи съ звѣздою. Черезъ полгода солнце подвинется по эклиптикѣ къ востоку на половину окружности и будетъ запаздывать на цѣлые полъ-оборота, — оно придетъ къ меридіану только черезъ 12^h послѣ звѣзды. Въ годъ, обойдя навстрѣчу суточному движенію цѣлую окружность эклиптики, солнце отстанетъ на цѣлый оборотъ отъ данной звѣзды. Другими словами—солнце сдѣлаетъ въ теченіе года однимъ суточнымъ оборотомъ меньше чѣмъ звѣзда. Точными наблюденіями найдено, что въ одномъ году (одинъ полный оборотъ солнца по эклиптикѣ) заключается 366,2422008 звѣздныхъ сутокъ; на основаніи предыдущаго—среднихъ сутокъ будетъ на единицу меньше. Слѣдовательно, 366,2422008 звѣздныхъ сутокъ равны 365,2422008 средн. сутокъ, откуда 1 звѣздн. сутки $=\frac{365,2422008}{366,2422008}=0,997269567$ среднихъ сутокъ, или: 1 звѣздн. сутки $=(1-0,002730433)$ средн. суткамъ $=1$ ср. сут. $-3^m\ 55^s,9094112$ средняго времени. Эта разница и была указана нами раньше. Звѣздное время совпадаетъ съ среднимъ только однажды въ году,—въ моментъ весенняго равноденствія. Затѣмъ звѣздные часы уходятъ впередъ противъ среднихъ ежедневно почти на 4 минуты и приблизительно на 2 часа въ мѣсяцъ.

Мы изложили, насколько это необходимо для нашей цѣли, основныя понятія объ астрономическихъ координатахъ, коснувшись также и измѣренія времени, этого важнѣйшаго элемента въ астрономіи и при практическихъ работахъ, и въ теоретическихъ вычисленіяхъ. Едва ли нужно упоминать здѣсь о томъ, что видимыя движенія на небѣ, о которыхъ все время шла рѣчь выше, суть отраженія тѣхъ движеній, которыя присущи землѣ. Мы не сомнѣвались, что читателю это хорошо извѣстно. Такимъ образомъ, суточное вращеніе небесной сферы есть отраженіе вращенія земли вокругъ ея оси, звѣздныя сутки—это время одного полнаго оборота земного шара. Точно такъ же всѣмъ извѣстно, что солнце не имѣетъ годичнаго движенія вокругъ земли, и, если оно видимымъ образомъ перемѣщается между звѣздами по эклиптикѣ, то это кажущееся движеніе зависитъ отъ годичнаго движенія земли по ея орбитѣ вокругъ солнца. Слѣдовательно, эклиптика есть кругъ пересѣченія съ воображаемою небесною сферой плоскости земной орбиты.

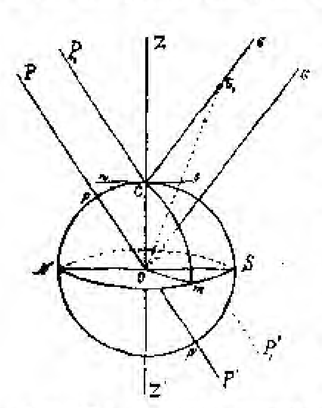
Кромѣ указанныхъ системъ координатъ, въ астрономіи при

теоретическихъ изысканіяхъ употребляются въ случаѣ надобности и другія системы координатъ—тѣ же, что въ геометріи и механикѣ.

7. Въ предыдущемъ изложеніи мы принимали за центръ небесной сферы, въ которомъ сходятся вершины всѣхъ опредѣляемыхъ нами угловъ,—данное мѣсто наблюденіи. Замѣтивъ, что точка, въ которой взаимно пересѣкаются основныя плоскости какой-нибудь системы координатъ, зовется *началомъ координатъ*, мы скажемъ короче, что началомъ координатъ до сихъ поръ намъ служила точка C—мѣсто наблюденія. Такъ это есть и въ дѣйствительности: инструментъ установленъ въ точкѣ C (фиг. 231, 232 и 233); она, стало быть, и будетъ вершиною всѣхъ угловъ, измѣряемыхъ этимъ инструментомъ. Но астрономическія обсерваторіи разсѣяны по всему земному шару; наблюденія, хотя бы и одновременныя, одного и того же свѣтила съ различныхъ мѣстъ земли даютъ часто весьма различные результаты; чтобы внести единство во всѣ наблюденія, ихъ приводятъ всегда къ одной точкѣ—*центру земли*. Эта точка равно принадлежитъ всѣмъ наблюдателямъ, и выборъ ея не затрогиваетъ національнаго самолюбія. Такая причина можетъ показаться на первый взглядъ маловажною, однако исторія, напримѣръ, вопроса о первомъ географическомъ меридіанѣ показываетъ противное: на нѣсколькихъ конгрессахъ въ теченіе двухъ столѣтій ученые разныхъ странъ не могли прійти къ соглашенію по этому вопросу. Но есть и другая, болѣе существенная причина, по которой необходимо принимать центръ земли за начало астрономическихъ координатъ. Въ теоретической астрономіи всегда разсматриваютъ движенія центра одного свѣтила относительно центра другого, такъ, напримѣръ,—движеніе центра луны относительно центра земли, центра земли относительно центра солнца и т. д., и всѣ формулы теоретической астрономіи относятся къ движеніямъ именно центровъ свѣтилъ. Посмотримъ, какъ совершается такое перенесеніе начала координатъ въ центръ земли, другими словами, какъ изъ наблюденныхъ координатъ получаются такъ называемыя *геоцентрическія*. *Преобразованіе координатъ. Понятіе о параллаксѣ.*

Пусть фиг. 234 представляетъ земной шаръ, O—центръ его; пусть C—точка наблюденія, Z—ея зенитъ, P_1C—ось міра, и плоскость чертежа есть плоскость меридіана, проходящая черезъ точки P_1, C, Z, а также черезъ центръ земли O (вертикаль ZCZ' проходитъ черезъ O). Плоскость, касательная къ земному шару въ точкѣ C, называется *видимымъ горизонтомъ* даннаго мѣста; она пересѣкаетъ плоскость меридіана по полуденной линіи nCs (n—сѣверъ, s—югъ); съ этою плоскостью мы и имѣли дѣло раньше.

Плоскость NS, параллельная видимому горизонту и проходящая черезъ центръ земли, есть *истинный горизонтъ* мѣста C. Вслѣдствіе ничтожности радіуса земли OC въ сравненіи съ размѣрами небесной сферы, обѣ указанныя параллельныя плоскости пересѣкаютъ небесную сферу по одному и тому же большому кругу. До сихъ поръ мы допускали, что ось міра CP_1 проходитъ черезъ мѣсто наблюденія C. На самомъ дѣлѣ ось міра есть прямая PP', проходящая черезъ центръ земли и совпадающая съ земною осью вращенія pp'. Но замѣтимъ, что кажущееся суточное вращеніе неба будетъ одинаково, вращается ли небо видимымъ образомъ вокругъ прямой PP' или вокругъ параллельной ей прямой P_1P_1', потому что въ обоихъ случаяхъ вращеніе равномѣрно и время одного полнаго оборота одинаково. Такъ какъ, кромѣ того, земной радіусъ безконечно малъ въ сравненіи съ размѣрами небесной сферы, то параллельныя прямыя PP' и P_1P_1' относительно безконечно близки между собою и потому пересѣкаютъ небесную сферу въ однѣхъ и тѣхъ же точкахъ, т. е. полюсы міра P и P_1, P' и P_1' совпадаютъ.



Фиг. 234. Геоцентрическія координаты; параллаксъ.

Проведемъ къ какому-нибудь свѣтилу σ радіусы-векторы $C\sigma$ и $O\sigma$ изъ мѣста наблюденія и изъ центра земли. Если разсматриваемое свѣтило чрезвычайно удалено отъ земли, то радіусы-векторы $C\sigma$ и $O\sigma$, сходясь въ центрѣ свѣтила, образуютъ весьма малый уголъ; иначе говоря, радіусъ земли CO виденъ со свѣтила подъ чрезвычайно малымъ угломъ. Для звѣздъ, напримѣръ, даже ближайшихъ къ намъ, этотъ уголъ, называемый *параллаксомъ*, измѣряется стотысячными долями секунды, для большинства же звѣздъ онъ едва ли составляетъ даже милліонную долю секунды, это такія величины, которыхъ мы не можемъ измѣрить даже самыми точнѣйшими инструментами. А потому параллаксъ неподвижныхъ звѣздъ на практикѣ равенъ нулю, и, слѣдовательно, прямыя $C\sigma$ и $O\sigma$ параллельны. Но въ такомъ случаѣ зенитныя разстоянія $ZC\sigma$ и $ZO\sigma$ одинаковы, смотримъ ли мы изъ точекъ C или O. Изъ разсмотрѣнія чертежа ясно, что азимутъ свѣтила совсѣмъ не мѣняется при переходѣ съ поверхности въ центръ земли (даже при существованіи параллакса) и равенъ углу mOS. Итакъ, при перенесеніи начала координатъ

горизонтальной системы изъ мѣста наблюденія въ центръ земли, координаты — азимутъ и зенитное разстояніе или высота — *очень удаленнаго* свѣтила не мѣняются.

Иначе обстоитъ дѣло, если свѣтило имѣетъ измѣримый параллаксъ. Пусть такое свѣтило есть σ_1; параллаксъ его есть $\angle C\sigma_1 O$. Мы видимъ, что азимутъ свѣтила не мѣняется, но видимое зенитное разстояніе $ZC\sigma_1$ больше геоцентрическаго зенитнаго разстоянія $ZO\sigma_1$ на уголъ $\pi = \angle C\sigma_1 O$. Упомянемъ здѣсь кстати, что наибольшій изъ параллаксовъ имѣетъ ближайшее къ землѣ свѣтило луна, — однако и для нея въ наилучшемъ случаѣ $\pi = 57' 2'',7$; наибольшая величина параллакса солнца есть $\pi = 8'',82$.

При суточномъ вращеніи земли радіусъ CO данной точки C представляется подъ различными углами зрѣнія изъ центра свѣтила, т.-е. параллаксъ есть величина, мѣняющаяся въ извѣстныхъ предѣлахъ. Математическая теорія параллакса даетъ формулы для поправокъ, которыя надо ввести въ наблюденныя координаты, чтобы перейти къ геоцентрическимъ. Эти формулы были бы сравнительно просты, но дѣло усложняется сплюснутостью земли, вслѣдствіе которой радіусы земли имѣютъ различную длину, сообразно географической широтѣ мѣста. Кромѣ того, вслѣдствіе эллипсоидальной формы земли [8]), вертикали CZ (перпендикуляры къ земной поверхности) не проходятъ въ точности черезъ центръ O, какъ это необходимо было бы, если бы земля была геометрически правильнымъ шаромъ. Эта вторая причина влечетъ за собою даже измѣненіе азимута, который при шарообразной формѣ земли, какъ видно изъ фиг. 234, не мѣнялъ бы своей величины съ перенесеніемъ начала координатъ въ центръ земли.

Аналогичныя формулы даются въ теоріи параллакса и для перехода отъ наблюденныхъ экваторіальныхъ координатъ къ экваторіальнымъ же геоцентрическимъ. Здѣсь такъ же координаты отдаленныхъ свѣтилъ остаются безъ перемѣны, — измѣненіе склоненія и прямого восхожденія является только при существованіи измѣримаго параллакса.

Наконецъ, часто приходится разсматривать положеніе свѣтилъ относительно центра солнца. Въ этомъ случаѣ начало координатъ (обыкновенно — экваторіальныхъ и эклиптическихъ) переносится въ центръ солнца. Для неподвижныхъ звѣздъ и здѣсь въ громадномъ большинствѣ случаевъ координаты остаются тѣ же, такъ какъ

---

[8]) См. „Форма и размѣры земли", II, 44, § 10.

даже радіусъ земной орбиты является величиною исчезающею въ сравненіи съ разстояніями звѣздъ. Иначе говоря, *годичный параллаксъ звѣздъ*, т. е. *уголъ, подъ которымъ виденъ со звѣзды радіусъ земной орбиты*, чрезвычайно малъ, — наибольшій изъ немногихъ доступныхъ измѣренію годичныхъ параллаксовъ (для звѣзды α Centauri) равенъ едва 0″,75.

Замѣтимъ, что разъ извѣстенъ параллаксъ $\pi = \angle C\sigma_1 O$ свѣтила σ_1 (фиг. 234), то, добывъ наблюденіемъ видимое зенитное разстояніе $z = \angle ZC\sigma_1$ и получивъ при посредствѣ параллакса вычисленіемъ геоцентрическое зенитное разстояніе $z' = \angle ZO\sigma_1$, мы имѣемъ въ треугольникѣ $OC\sigma_1$ извѣстными всѣ три угла и одну изъ сторонъ OC (радіусъ земли въ мѣстѣ наблюденія). А въ такомъ случаѣ опредѣленіе стороны $O\sigma_1$ — разстоянія свѣтила отъ центра земли — одна изъ простѣйшихъ тригонометрическихъ задачъ.

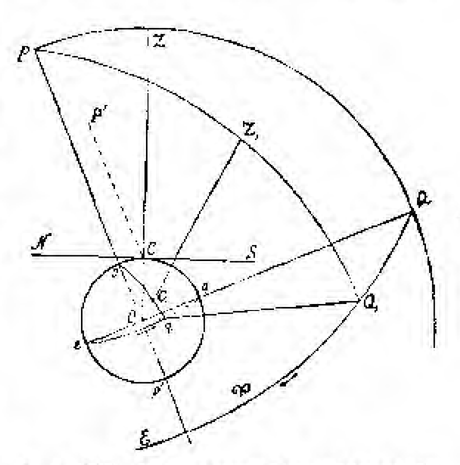
Однако, какъ раньше было замѣчено, опредѣленіе самого параллакса производится сложными пріемами и требуетъ длинныхъ вычисленій, о чемъ здѣсь не мѣсто распространяться.

Кромѣ перенесенія начала координатъ, часто приходится преобразовывать координаты одной системы въ другую. Это дѣлается сравнительно просто, — путемъ тригонометрическихъ вычисленій. Возвратимся къ нашей фиг. 231 и разсмотримъ сферическій треугольникъ $PZ\sigma$, т. е. треугольникъ, образованный дугами большихъ круговъ сферы. Въ немъ стороны суть: $Z\sigma = z$ зенитное разстояніе, $P\sigma = 90^\circ - \delta$ полярное разстояніе (дополненіе склоненія δ до 90°), PZ неизмѣнное разстояніе отъ полюса до зенита, хорошо извѣстное для каждаго мѣста наблюденія (§ 8); углы: $ZP\sigma = t$ часовой уголъ, $PZ\sigma = 180^\circ - A$ — дополненіе азимута $A = \angle MZS$ до 180°. Сферическая тригонометрія даетъ формулы, съ помощью которыхъ по тремъ элементамъ сферическаго треугольника можно опредѣлить остальные. Такимъ образомъ, зная z, A и PZ, мы найдемъ δ и t и обратно: по δ, t и PZ получимъ z и A, т. е. изъ горизонтальныхъ координатъ найдемъ экваторіальныя и наоборотъ. Подобнымъ образомъ возможенъ переходъ отъ экваторіальной системы къ системѣ эклиптики и обратно, — рѣшеніемъ сферическаго треугольника $pP\sigma$ на фиг. 233.

Географическія координаты.

8. Чтобы окончательно подготовить матеріалъ для дальнѣйшаго изложенія, намъ остается сказать нѣсколько словъ еще о *географическихъ координатахъ*. На фиг. 235 C есть мѣсто наблюденія, кругъ $Cqp'ep$ — сѣченіе земного шара меридіаномъ мѣста C, плоскость OQE — плоскость экватора, которая сѣчетъ землю по земному

экватору eq, небесную сферу—по небесному экватору EQ; OP—ось міра, совпадающая съ осью земли pp'; безконечно удаленный полюсъ P виденъ изъ мѣста C по направленію CP', параллельному оси міра — OP. *Географическою широтою* называется, какъ извѣстно, разстояніе Cq мѣста C отъ земного экватора, т. е. дуга Cq, *измѣряемая* по меридіану, или — все равно — уголъ $COq = \varphi$. Очевидно, $\angle COq = \angle NCP'$, т. е. *географическая широта равна высотѣ полюса міра P надъ горизонтомъ NS даннаго мѣста.* Уголъ $P'CZ = 90° - \varphi$ есть зенитное разстояніе полюса; съ нимъ мы имѣли дѣло выше (§ 7) при разсмотрѣніи сферическаго $\triangle PZo$ (фиг. 231). Для опредѣленія географической широты на практикѣ обыкновенно измѣряютъ уголъ $P'CZ$ и широту получаютъ вычитаніемъ его изъ 90°. Одинъ изъ способовъ опредѣленія географической широты таковъ: измѣряютъ зенитныя разстоянія Zm и Zn (фиг. 231) звѣзды s, близкой къ полюсу, въ моменты ея кульминацій—верхней и нижней,—складываютъ полученныя числа, дѣлятъ результатъ пополамъ, — получаютъ зенитное разстояніе полюса $PZ = 90° - \varphi$.



Фиг. 235. Географическія координаты.

Географическою долготою какого-нибудь мѣста C_1 отъ другого мѣста C называется уголъ qOq_1 между плоскостями земныхъ меридіановъ qCp и q_1C_1p этихъ мѣстъ. Пусть въ данный моментъ времени плоскости земныхъ меридіановъ пересѣкаютъ небесную сферу по кругамъ PZQ и PZ_1Q_1; это суть два круга склоненій. Положимъ, что точка весенняго равноденствія помѣщается въ ♈ на экваторѣ. Тогда звѣздное время мѣста C_1 есть дуга ♈Q_1, а звѣздное время мѣста C—дуга ♈Q. *Разница звѣздныхъ временъ*—дуга QQ_1 или (все равно) уголъ QOQ_1 — *равна географической долготѣ одного мѣста относительно другого.* Географическую долготу въ астрономіи выражаютъ (какъ и прямое восхожденіе) не въ градусахъ, а въ часахъ; такъ, напримѣръ, долгота Москвы отъ Гринвича есть $2^h30^m17^s$ къ востоку ($=37°34'15''$) [9]). Какъ мы замѣтили

[9]) Объ опредѣленіи геогр. долготы см. „Форма и размѣры земли", 44, § 19.

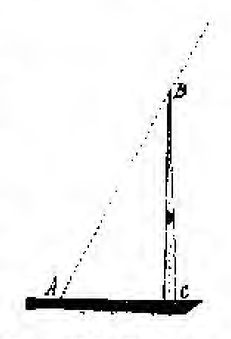
раньше (§ 7), соглашенія относительно перваго меридіана, общаго для всѣхъ странъ, до сихъ поръ не существуетъ. Одно время былъ принятъ меридіанъ острова Ферро, но, при его введеніи, на островъ Ферро не было послано экспедиціи для точнаго опредѣленія долготы его относительно европейскихъ обсерваторій,—было принято просто наугадъ, что Ферро отстоитъ отъ Парижской обсерваторіи на 20°. Впослѣдствіи вопросъ былъ точно изслѣдованъ и оказалось, что въ 20° отъ Парижа нѣтъ никакого острова. Тогда всѣ увидѣли, что меридіанъ о-ва Ферро есть замаскированный Парижскій; съ тѣхъ поръ онъ потерялъ всякое значеніе и въ настоящее время употребляется только въ учебникахъ географіи. Астрономы же и моряки употребляютъ или меридіанъ главной обсерваторіи своего государства, или тотъ меридіанъ, къ которому относятся тѣ или другіе астрономическіе календари и таблицы.

Инструменты древнихъ. 9. Познакомивъ читателя съ основными началами той важной части науки о небѣ, которая носитъ названіе *сферической астрономіи*, мы переходимъ теперь къ описанію самыхъ инструментовъ, при помощи которыхъ точнѣйшимъ образомъ измѣряются геометрическія величины, опредѣляющія положеніе свѣтилъ на небесной сферѣ. Теорія этихъ инструментовъ, а также теорія различныхъ методовъ наблюденій, составляютъ предметъ изученія другой обширной и не менѣе важной отрасли нашей науки — *астрономіи практической*.

Употребленіе инструментовъ при астрономическихъ наблюденіяхъ получило начало въ самой глубокой древности. Китайцы за 2 тыс. лѣтъ до начала нашей эры и, послѣ, халдеи — уже употребляли *гномонъ*. Этотъ инструментъ въ простѣйшемъ видѣ представляетъ палку, вертикально воткнутую въ землю. Несмотря на такую несложность устройства, гномонъ позволяетъ рѣшить многіе важные вопросы астрономіи.

Въ солнечный день вертикальный стержень гномона бросаетъ тѣнь на ту горизонтальную плоскость, на которой онъ укрѣпленъ. Тѣнь эта тѣмъ короче, чѣмъ выше солнце на небѣ. Отмѣчая моментъ, когда тѣнь въ теченіе дня — кратчайшая, мы опредѣляемъ моментъ наибольшей высоты солнца, т. е. моментъ его кульминаціи — истинный полдень. Замѣчая направленіе тѣни въ этотъ моментъ, имѣемъ положеніе полуденной линіи, а стало быть и плоскости меридіана. Найдя путемъ ежедневныхъ наблюденій тотъ день, когда тѣнь въ полдень бываетъ кратчайшая въ теченіе всего года, мы опредѣляемъ такимъ образомъ начало лѣта,—день *лѣт-*

няго солнцестоянія, т. е. день, въ который солнце проходитъ часть эклиптики, наиболѣе удаленную отъ экватора къ сѣверу. Въ это время высота солнца надъ горизонтомъ въ истинный полдень—наибольшая, какъ нетрудно убѣдиться изъ разсмотрѣнія нашей фиг. 233, гдѣ K есть точка лѣтняго солнцестоянія. Считая количество сутокъ и частей ихъ, протекшихъ отъ одного лѣтняго солнцестоянія до другого, получаемъ длину года. Подобнымъ же образомъ опредѣляется день *зимняго солнцестоянія*, когда солнце находится въ точкѣ E (фиг. 233) и тѣнь гномона въ полдень—длиннѣйшая въ году. Гномонъ BC, тѣнь AC (фиг. 236) и лучъ AB, касающійся вершины гномона, образуютъ прямоугольный треугольникъ, въ которомъ уголъ BAC есть, очевидно, высота солнца надъ горизонтомъ. Въ этомъ треугольникѣ стороны AC и BC легко измѣрить, уголъ $ACB=90°$, - этого вполнѣ достаточно, чтобы тригонометрически опредѣлить $\angle BAC$—высоту солнца. Опредѣляя такимъ путемъ *полуденныя высоты* солнца въ моменты лѣтняго и зимняго солнцестояній, вычитая ихъ одну изъ другой, мы получаемъ, какъ видно изъ фиг. 233, двойную величину угла $K♈Q$. Дѣля эту разность пополамъ, находимъ величину наклоненія эклиптики къ экватору $\varepsilon=23°27'$. Вычитая это ε изъ высоты солнца въ день лѣтняго солнцестоянія, находимъ наклоненіе экватора къ горизонту, т. е. уголъ QCS на ф. 232, а вычитая этотъ уголъ изъ 90°, имѣемъ географическую широту мѣста наблюденія. Наконецъ, замѣчая въ теченіе года дни, въ которые высота солнца въ полдень равна наклоненію экватора къ горизонту, мы опредѣляемъ дни равноденствій весенняго и осенняго, начала весны и осени, а также положенія точекъ равноденствій — весенняго ♈ и осенняго ♎—на небесной сферѣ.



Фиг. 236. Гномонъ.

Александрійскіе и затѣмъ арабскіе астрономы употребляли кромѣ гномона также *армиллярную сферу*—систему дѣленныхъ на градусы деревянныхъ круговъ, связанныхъ и установленныхъ такъ, что они соотвѣтствовали большимъ кругамъ небесной сферы — горизонту, меридіану, экватору, эклиптикѣ. Однако, употребленіе гномона было удобнѣе, и хорошо установленный, высокій гномонъ давалъ болѣе точные результаты, а потому онъ и употреблялся вплоть до изобрѣтенія инструментовъ съ зрительными трубами. Величайшій изъ извѣстныхъ въ Европѣ гномоновъ былъ устроенъ

(1467 г.) Павломъ Тосканелли на куполѣ Флорентинскаго собора. Высота его надъ уровнемъ почвы—92 метра.

Въ средніе вѣка арабскіе астрономы изобрѣли и употребляли большіе *стѣнные квадранты* и *секторы*. Такъ называлась четвертая, шестая или еще меньшая часть круга, дѣленная на градусы и утвержденная на каменной стѣнѣ въ плоскости меридіана. Квадрантъ давалъ возможность опредѣлять высоты свѣтилъ въ моментъ кульминаціи и отсюда — склоненія, а при помощи часовъ и прямыя восхожденія. Замѣчательной точности при работахъ съ квадрантомъ достигъ Тихо-де-Браге (Tycho Brahe). Въ его опредѣленіяхъ высотъ и склоненій рѣдко встрѣчаются ошибки даже въ 2′, между тѣмъ какъ опредѣленія Птоломея при помощи армиллярной сферы и гномоновъ имѣли точность не болѣе 10′. Изъ новѣйшихъ астрономовъ квадрантами и секторами (металлическими) еще пользовался Брадлей (Bradley), знаменитый директоръ Гринвичской Обсерваторіи († 1762). Его меридіанныя наблюденія, замѣчательныя по точности, приведшія его къ открытію аберраціи свѣта и нутаціи земной оси [10]), а также послужившія ему и другимъ ученымъ основаніемъ для составленія нѣсколькихъ звѣздныхъ каталоговъ,—произведены были при помощи стѣнного сектора и стѣнного квадранта, приготовленныхъ извѣстнымъ въ то время художникомъ Грэмомъ (George Graham).

Въ старинныхъ квадрантахъ направленіе небеснаго свѣтила опредѣлялось *діоптрами* или *визирами*—пластинками съ вырѣзкою, посрединѣ которой натянутъ волосокъ. Одинъ такой діоптръ неподвижно укрѣплялся въ центрѣ квадранта, другой двигался по окружности. При наблюденіи приводили волоски діоптровъ въ совпаденіе съ наблюдаемою звѣздою, чѣмъ опредѣлялось положеніе луча зрѣнія, идущаго черезъ свѣтило и центръ квадранта, — затѣмъ отсчитывали дѣленія на окружности. Фиг. 237 представляетъ изображеніе большого стѣнного квадранта Тихо-де-Браге и производство наблюденій: одинъ помощникъ смотритъ въ діоптръ, другой отсчитываетъ показанія часовъ, третій записываетъ, самъ астрономъ руководитъ наблюденіями (этотъ рис. находится въ соч. Тихо: „Astronomiae instauratae mechanica“, 1597). Діоптры съ волосками и теперь еще употребляются въ инструментахъ, предназначенныхъ для грубаго измѣренія угловъ,—съ точностью не выше 1′, какъ, напр., въ землемѣрныхъ астролябіяхъ.

---

[10]) См. Рыдзевскій, 41, 8 9, 10, 16.

10. Какъ видно изъ устройства квадранта, наблюденія съ нимъ не могли имѣть большой точности. Поэтому важный моментъ въ **Инструменты съ зрительными трубами.**



Фиг. 237. Тихо-Браге производитъ наблюденія стѣннымъ квадрантомъ.

исторіи усовершенствованія астрономическихъ инструментовъ представляетъ соединеніе раздѣленныхъ круговъ съ зрительными трубами. Какъ установлено исторіей науки, это изобрѣтеніе впервые

сдѣлано въ 1640 г. молодымъ, даровитымъ англичаниномъ Гаскойномъ (Gascoigne,—погибъ въ сраженіи 23 лѣтъ отъ роду), потомъ оно было забыто и вновь открыто французами Пикаромъ (Picard) и Озу (Auzout; опубликовано въ сочиненіи послѣдняго: Traité du micromètre, Paris, 1667).

Такимъ образомъ въ современныхъ инструментахъ направленіе луча зрѣнія, идущаго къ свѣтилу, опредѣляется направленіемъ оптической оси зрительной трубы. Чтобы точнымъ образомъ опредѣлить это направленіе, въ общемъ фокусѣ объектива и окуляра трубы помѣщается крестъ изъ весьма тонкихъ нитей, натянутыхъ перпендикулярно одна другой. Точка пересѣченія нитей совпадаетъ съ оптическою осью трубы и съ воздушнымъ изображеніемъ предмета, получающимся въ фокусѣ объектива. Малѣйшее несовпаденіе луча зрѣнія съ оптическою осью трубы влечетъ за собою смѣщеніе креста нитей съ наблюдаемой точки. Это смѣщеніе представляется глазу тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше увеличеніе трубы; поэтому въ современныхъ инструментахъ съ сильно увеличивающими трубами достигается почти идеально-геометрическая точность въ опредѣленіи направленія луча зрѣнія, идущаго къ небесному предмету. Чтобы еще болѣе увеличить эту точность, нити дѣлаются чрезвычайно тонкими; это—или тончайшія паутинки, или приготовленныя особымъ способомъ металлическія проволочки, толщина которыхъ измѣряется лишь тысячными долями миллиметра [11]). Даже при сильно увеличивающемъ окулярѣ онѣ представляются лишь тонкими волосками, пересѣкающими поле зрѣнія трубы.

Это изобрѣтеніе, на первый взглядъ кажущееся маловажнымъ, послужило однако источникомъ всей точности новѣйшей астрономіи. Безъ него были бы безплодны всѣ другія усовершенствованія въ техникѣ построенія астрономическихъ инструментовъ, потому что ошибка, которую мы дѣлали бы при визированіи на небесный предметъ, превосходила бы ошибки отъ другихъ погрѣшностей въ устройствѣ инструмента.

Положеніе въ пространствѣ луча зрѣнія, приведеннаго указаннымъ образомъ въ совпаденіе съ оптическою осью трубы, опредѣляется далѣе угломъ, отсчитываемымъ на металлическомъ кругѣ, центръ котораго совпадаетъ съ осью вращенія трубы. Кругъ этотъ весьма точно раздѣленный на градусы, располагается такъ, чтобы

---

[11]) Въ послѣднее время примѣняютъ также кварцевыя нити, приготовленныя по способу Бойса. См. „Тверд., капельно-жид. и газ. тѣла“ I, 4, 9.

плоскость его совпала съ плоскостью одного изъ большихъ круговъ неба. Наводя трубу инструмента на различныя свѣтила и дѣлая отсчеты на раздѣленномъ кругѣ, мы будемъ получать координаты свѣтилъ, соотвѣтствующія тому большому кругу небесной сферы, въ плоскости котораго расположенъ раздѣленный кругъ нашего инструмента.

Мы перейдемъ теперь къ описанію отдѣльныхъ инструментовъ, при чемъ въ качествѣ примѣровъ будемъ брать инструменты преимущественно Пулковской Обсерваторіи. Закончивъ затѣмъ общимъ ея описаніемъ, мы дадимъ такимъ образомъ читателю довольно полное понятіе объ этомъ знаменитомъ астрономическомъ учрежденіи.

Меридіанный кругъ.

11. Необходимую принадлежность каждой хорошо обставленной современной обсерваторіи составляетъ *меридіанный кругъ*,— инструментъ, введенный въ употребленіе впервые датчаниномъ Рёмеромъ (Römer) [12]) въ 1689 г. Какъ показываетъ самое названіе, это есть раздѣленный кругъ, установленный въ плоскости меридіана. Этотъ инструментъ даетъ возможность опредѣлять (пользуясь при этомъ часами) моменты кульминацій свѣтилъ, а слѣдовательно ихъ прямыя восхожденія, и въ то же время отсчитывать склоненія.

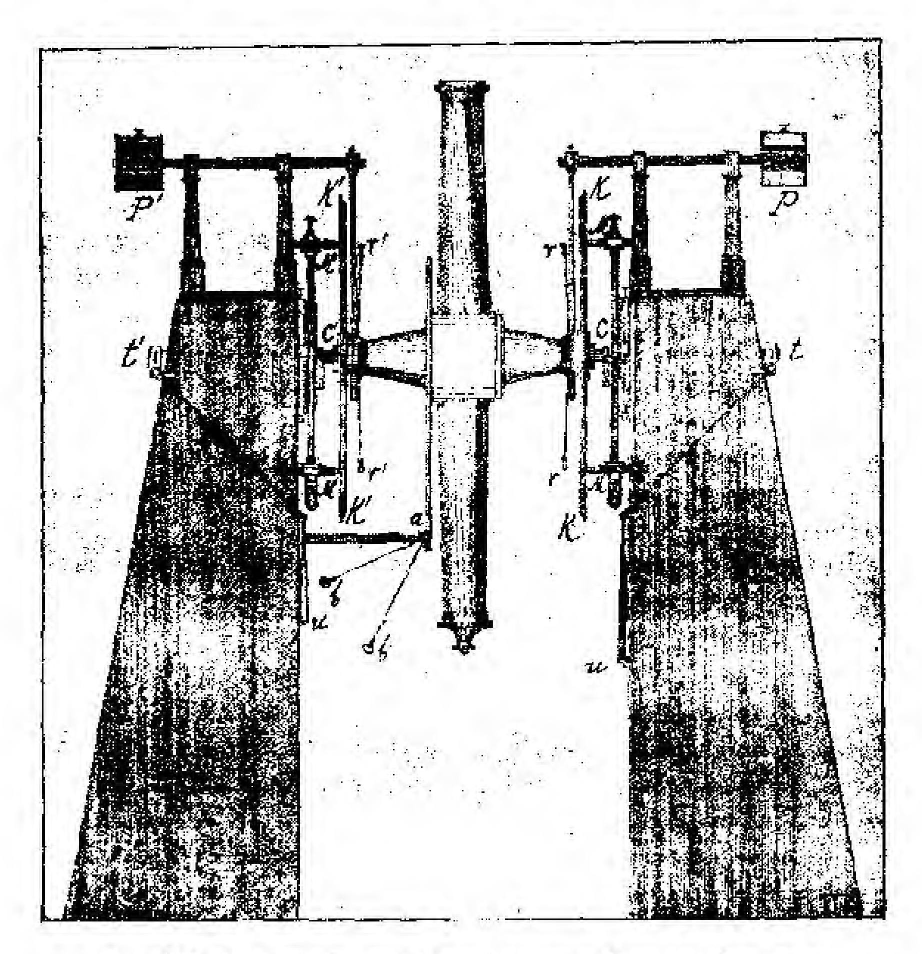
Пулковская Обсерваторія обладаетъ большимъ меридіаннымъ кругомъ работы знаменитыхъ художниковъ бр. Репсольдъ (Repsold) въ Гамбургѣ [13]). Онъ изображенъ на фиг. 238.

Инструментъ утвержденъ на двухъ массивныхъ столбахъ сѣраго гранита, высота которыхъ надъ поломъ 7,6 фут. Эти устои покоятся на каменномъ фундаментѣ, глубоко заложенномъ въ землю. Какъ этотъ фундаментъ, такъ и гранитныя колонны — нигдѣ не связаны съ фундаментомъ и стѣнами зданія и не касаются пола залы, въ которой помѣщается инструментъ. Такъ устанавливаются всѣ большіе инструменты во избѣжаніе сотрясеній ихъ при ходьбѣ по полу, при вздрагиваніи стѣнъ зданія отъ вѣтра и пр. Гранитныя колонны имѣютъ выемки, въ которыхъ на особыхъ металличе-

[12]) См. „Скор. свѣта“ II, 39.

[13]) Художниками мы называемъ строителей точнѣйшихъ и совершеннѣйшихъ инструментовъ. Основателемъ упомянутой фирмы былъ Іоганнъ Репсольдъ (1771—1830); его дѣло съ успѣхомъ продолжали сыновья Адольфъ и Георгъ, а затѣмъ внуки Іоганнъ и Оскаръ. Въ этой мастерской приготовлены для различныхъ обсерваторій XIX в. многіе инструменты — дивнаго совершенства.

скихъ подушкахъ лежатъ концы оси вращенія трубы и круга, или такъ называемыя цапфы C, C'. Эта горизонтальная ось имѣетъ направленіе съ запада на востокъ, такъ что перпендикулярная къ ней труба при вращеніи описываетъ плоскость меридіана. Среднюю часть трубы составляетъ кубъ, пустой внутри. Къ кубу, каждое

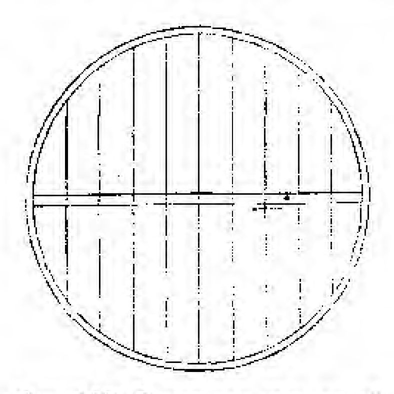


Фиг. 238. Пулковскій меридіанный кругъ работы бр. Репсольдъ.

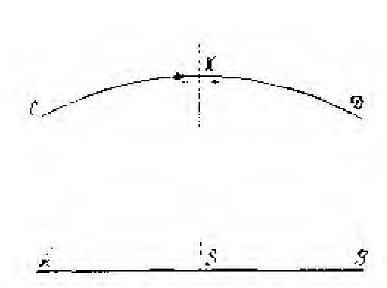
ребро котораго имѣетъ 9,4 дюйма длины, прикрѣплены слѣва и справа коническія части оси вращенія, а сверху и снизу — объективная и окулярная части зрительной трубы, которая также имѣетъ видъ двухъ конусовъ, привинченныхъ къ кубу своими широкими основаніями. Какъ извѣстно, тѣла такой формы наиболѣе сопротивляются прогибу отъ дѣйствія своей собственной тяжести.

Длина оси вращенія — 43,3 дюйма. Чтобы цапфы C, C' по возможности меньше стирались, давленіе ихъ на подушки уменьшено съ помощью противовѣсовъ P, P'. Такимъ образомъ, весь инструментъ какъ бы поддерживается въ воздухѣ, только слабо надавливая цапфами на подушки. Грубое вращеніе оси съ трубою и раздѣленными кругами K, K' производится за ручки r, r'; когда же труба *приблизительно наведена на требуемую точку неба, то при помощи* ручекъ b, b сочленяютъ съ осью вращенія часть a и даютъ ей вмѣстѣ съ осью трубы весьма медленное и нѣжное вращеніе при посредствѣ микрометрическаго (т. е. весьма мелко нарѣзаннаго) винта.

Вся горизонтальная ось инструмента вмѣстѣ съ цапфами просверлена насквозь по линіи tt'. Въ этотъ каналъ падаетъ лучъ свѣта отъ лампы, которая ставится предъ отверстіями t или t'. Отра-



Фиг. 239. Окулярная сѣть нитей меридіаннаго круга.

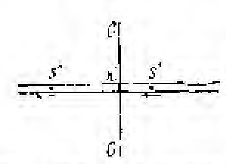


Фиг. 240. Кульминація звѣзды.

жаясь отъ призмы, утвержденной внутри центральнаго куба, этотъ пучекъ свѣта освѣщаетъ сѣть нитей, находящуюся въ окулярномъ концѣ трубы. Нити дѣлаются, такимъ образомъ, видимыми ночью въ видѣ свѣтлыхъ линій на темномъ фонѣ неба. Для уменьшенія или совершеннаго уничтоженія освѣщенія нитей служатъ ручки u, u', которыя приводятъ въ движеніе особыя задвижки въ t и t', болѣе или менѣе закрывающія каналъ tt'.

Объективъ трубы описываемаго инструмента имѣетъ діаметръ 5,81 дюйма и фокусное разстояніе 6 фут. 11,2 дюйма, т. е. 1 саж. безъ 8 линій. При трубѣ имѣются 3 окуляра, дающіе увеличенія 170,238 и 245. Сѣтка нитей, помѣщенная въ фокусѣ объектива, имѣетъ видъ, изображенный на фиг. 239. Она состоитъ изъ 2 горизонтальныхъ нитей и 9 вертикальныхъ. При наблюденіи труба на-

водится на небо такъ, чтобы звѣзда, координаты которой хотятъ опредѣлить, помѣщалась между горизонтальными нитями. Звѣзда движется на небѣ суточнымъ движеніемъ съ востока на западъ по одной изъ небесныхъ параллелей, часть которой вблизи точки кульминаціи K совершенно горизонтальна (фиг. 240; здѣсь AB — горизонтъ, CD — параллель звѣзды, KS — меридіанъ, S — точка юга). Поэтому въ трубѣ инструмента звѣзда не выходитъ изъ узкаго промежутка между горизонтальными нитями и движется въ немъ справа налѣво (съ запада къ востоку, такъ какъ труба перевертываетъ изображенія), послѣдовательно пересѣкая всѣ 9 вертикальныхъ нитей. Средняя изъ нитей какъ разъ совпадаетъ съ плоскостью меридіана, такъ что моментъ прохожденія звѣзды черезъ среднюю нить поля зрѣнія и есть моментъ кульминаціи.



Фиг. 241. Наблюденіе кульминаціи меридіаннымъ кругомъ.

Наблюденіе производятъ такимъ образомъ. Повертываютъ трубу сначала грубо—отъ руки, затѣмъ микрометрическимъ движеніемъ такъ, чтобы нужная звѣзда попала въ промежутокъ между горизонтальными нитями; слѣдятъ за звѣздою, слушая въ то же время удары маятника звѣздныхъ часовъ, которые всегда находятся вблизи инструмента на особомъ каменномъ столбѣ (смотрѣть на часы некогда, такъ какъ при сильномъ увеличеніи звѣзда быстро бѣжитъ по полю зрѣнія). Обыкновенно моментъ пересѣченія звѣздою нити не совпадаетъ ни съ однимъ изъ ударовъ маятника, отбивающаго секунды. Разницу приходится оцѣнивать на глазъ. Пусть, напр., при вступленіи звѣзды въ поле зрѣнія трубы замѣчено на часахъ полное число часовъ и минутъ — $a^h b^m$; наблюдатель считаетъ секунды, не отрывая глаза отъ окуляра; пусть въ моментъ 37-го удара звѣзда была въ s', а въ моментъ 38-го—уже въ s'' (фиг. 241), такъ что прохожденіе черезъ нить 00 произошло въ a^h b^m 37^s съ дробью; эту-то дробь и приходится оцѣнивать на глазъ, — на нашей фигурѣ промежутокъ $s'K$ равенъ приблизительно 0,3 всего промежутка $s's''$, такъ что въ данномъ случаѣ кульминація совершилась въ a^h $b^m 37^s,3$. Хотя опытные наблюдатели имѣютъ большой навыкъ въ подобной оцѣнкѣ на глазъ относительной длины отрѣзковъ прямой, однако малыя погрѣшности здѣсь неизбѣжны. Для увеличенія точности результата наблюдаютъ моменты прохожденія звѣзды не черезъ среднюю нить только, а черезъ нѣсколько вертикальныхъ нитей.

Для каждаго инструмента заранѣе опредѣлено точными измѣре-

ніями промежутковъ между нитями, затѣмъ наблюденіями и вычисленіемъ, за сколько секундъ и частей секунды до кульминаціи или черезъ сколько времени послѣ нея должно совершиться прохожденіе звѣзды черезъ каждую изъ вертикальныхъ нитей. Для сѣти пулковскаго меридіаннаго круга эти промежутки суть:

Нити:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Промежутки времени:	45ˢ,	30ˢ,	15ˢ,	5ˢ,	0ˢ,	5ˢ,	15ˢ,	30ˢ,	45ˢ.
	послѣ кульминаціи.					до кульминаціи.			

Имѣя такимъ образомъ изъ наблюденія 8 моментовъ прохожденія звѣзды черезъ боковыя нити, прибавляя къ каждому изъ нихъ (или вычитая) указанное число секундъ, будетъ имѣть 8 моментовъ прохожденія черезъ среднюю нить, а съ моментомъ дѣйствительнаго прохожденія черезъ нить № V — 9 результатовъ. Взявши изъ нихъ среднее, получимъ истинный моментъ кульминаціи съ большою точностью, такъ какъ ошибки отсчетовъ на глазъ (изъ которыхъ одни могли быть болѣе, другіе менѣе истинныхъ промежутковъ)—взаимно уничтожаются. Опредѣленный указаннымъ путемъ моментъ кульминаціи звѣзды у опытнаго наблюдателя бываетъ точенъ до $0,^s01$, и ни въ какомъ случаѣ ошибка не превышаетъ $0,^s1$. Въ новѣйшихъ инструментахъ число вертикальныхъ нитей (всегда нечетное) бываетъ и болѣе 9, даже до 27.

Для отсчета угловъ, расположенныхъ въ плоскости меридіана, служатъ два раздѣленныхъ круга K и K' (фиг. 238), параллельные этой плоскости. Въ пулковскомъ инструментѣ внѣшній діаметръ этихъ круговъ 48 дюймовъ. По окружности круговъ вставлена серебряная полоса (самые круги — мѣдные), на которой и нанесены дѣленія въ разстояніи 2′ одно отъ другого.

Посмотримъ, каково линейное разстояніе между каждыми двумя дѣленіями. Радіусъ круга 24 дюйма, слѣдовательно, длина окружности: $2\pi R = 2.3,14159.24 = 150,79632$ дюйма; эта окружность раздѣлена на $360.30 = 10800$ частей; отсюда — каждый промежутокъ между дѣленіями равенъ 0,0139626 дюйма или около $^1/_7$ линіи. Такая величина уже едва замѣтна глазу, и дѣйствительно — *лимбъ* (край круга, несущій дѣленія) столь мелко раздѣленнаго круга представляется въ видѣ нѣжной сѣти изъ чрезвычайно тонкихъ штриховъ, едва различаемыхъ глазомъ на блестящемъ фонѣ серебра. Замѣтимъ, что современная астрономія не допускаетъ ошибки въ 1″ при опредѣленіи угловъ большими инструментами обсерва-

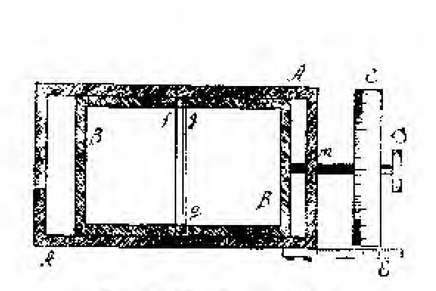
торій. Какъ ни малъ промежутокъ между каждою парою дѣленій круга, онъ все-таки измѣряетъ собою цѣлыхъ 2 минуты, которыхъ 1 секунда составляетъ лишь $^1/_{120}$ часть. Такимъ образомъ, ошибка при нанесеніи дѣленія лишь въ $^1/_{120}$ отъ $^1/_7$ части линіи, т. е. ошибка въ $^1/_{840}$ часть линіи, влечетъ за собою при измѣреніи угла погрѣшность уже въ цѣлую секунду. Отсюда видно, съ какою чрезвычайною тщательностью должны быть нанесены эти 10800 штриховъ на кругѣ.

При помощи весьма сложныхъ дѣлительныхъ машинъ и особыхъ остроумно придуманныхъ и весьма точныхъ пріемовъ современные механики достигаютъ почти невѣроятной точности. Особенно прославились въ этомъ отношеніи знаменитѣйшіе изъ современныхъ строителей измѣрительныхъ инструментовъ—бр. Репсольдъ. Первый основатель фирмы (Ioh Repsold) еще въ началѣ этого столѣтія придумалъ какой-то новый пріемъ дѣленія круговъ, далеко превосходящій все извѣстное другимъ художникомъ. Секретъ этого способа передается затѣмъ отъ отца къ сыну, составляя профессіональную тайну. Когда кругъ вполнѣ приготовленъ въ мастерской, его беретъ владѣтель фирмы въ свою рабочую комнату, гдѣ находятся всѣ соотвѣтствующія машины и принадлежности. Черезъ нѣсколько дней уносятъ кругъ изъ кабинета хозяина уже раздѣленнымъ. При вступленіи въ эту таинственную комнату кругъ стоитъ лишь нѣсколько десятковъ рублей, послѣ выхода оттуда— цѣна его выражается уже тысячами рублей.

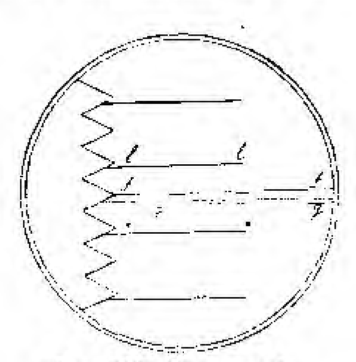
Отсчитываніе дѣленій простымъ глазомъ дало бы точность не болѣе 1′ и было бы къ тому же въ высшей степени утомительно и даже вредно для глазъ. Поэтому отсчитываніе производится при помощи микроскоповъ, которые увеличиваютъ промежутки между дѣленіями, и $^1/_7$ часть линіи принимаетъ для глаза величину нѣсколькихъ линій и даже цѣлаго дюйма. На фиг. 238 у каждаго изъ круговъ видны по два такихъ микроскопа *M*, *M′*. По два другихъ расположены позади плоскости чертежа. Всѣ четыре микроскопа, принадлежащіе одному кругу, прикрѣплены въ углахъ неподвижной квадратной рамы, какъ это лучше видно на фиг. 246 (это другой инструментъ, но расположеніе микроскоповъ то же, что въ меридіанномъ кругѣ). Самые круги *K*, *K′* наглухо закрѣплены на оси *C*, *C′* и вращаются вмѣстѣ съ трубою, такъ что дѣленія круговъ послѣдовательно проходятъ въ полѣ зрѣнія микроскоповъ.

Нитяный микрометръ. 12. Въ фокусѣ объектива каждаго изъ микроскоповъ, т. е. въ томъ мѣстѣ, гдѣ образуется изображеніе дѣленій круга, натянута

неподвижная паутинная нить f (фиг. 243). Очень рѣдко бываетъ, что изображеніе какого-нибудь изъ дѣленій круга совпадаетъ какъ разъ съ этою нитью. Обыкновенно между ближайшимъ дѣленіемъ k и нитью f остается промежутокъ fk, который измѣряется при помощи слѣдующаго устройства. Внутри неподвижной рамки A (фиг. 242) съ натянутою нитью f движется другая рамка B съ парою паутинокъ g,g, близкихъ другъ къ другу. Движеніе производится микрометрическимъ винтомъ, которому часть m неподвижной рамки служитъ гайкою. На винтѣ насаженъ широкій барабанъ C съ серебрянымъ ободкомъ, на которомъ нанесены дѣленія. При вращеніи за головку D мы ввинчиваемъ или вывинчиваемъ винтъ, подвигая вмѣстѣ съ нимъ туда и сюда внутреннюю рамку B. Цѣлые обороты винта отсчитываются на скалѣ E, а части оборота на бара-



Фиг. 242. Нитяный микрометръ.



Фиг. 243. Поле зрѣнія нитянаго микрометра.

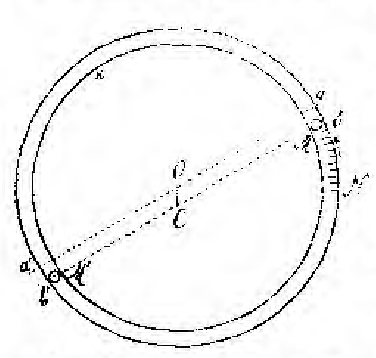
банѣ C. Пусть, напримѣръ, ходъ винта (разстояніе между двумя сосѣдними его нарѣзками)—$^1/_2$ миллиметра и окружность барабана раздѣлена на 100 частей, тогда при полномъ оборотѣ винтъ подвинетъ на $^1/_2$ миллиметра, при поворотѣ на одно дѣленіе барабана C—рамка подвинется на $^1/_{200}$ мм.

Передвигая пару нитей отъ изображенія одного штриха k до другого l (фиг. 243), мы узнаемъ, сколько полныхъ оборотовъ винта соотвѣтствуютъ одному дѣленію лимба. Въ пулковскомъ инструментѣ одному дѣленію лимба соотвѣтствуютъ 2 полныхъ оборота микрометрическаго винта, и барабанъ винта раздѣленъ на 60 частей. Такимъ образомъ, одинъ оборотъ винта даетъ 1 минуту, поворотъ на одно дѣленіе барабана—1 секунду угла; части дѣленій барабана, т. е. части секунды, отсчитываются на глазъ. Въ полѣ зрѣнія микроскопа обыкновенно помѣщается зубчатая линейка (фиг. 243),

каждый зубчикъ которой соотвѣтствуетъ одному полному обороту винта. Чтобы измѣрить угловую величину части лимба между штрихомъ k и неподвижною нитью микроскопа f, мы должны привести на середину промежутка между парою движущихся нитей gg—сначала нить f, потомъ черту k, число полныхъ оборотовъ винта отсчитать по зубчикамъ, части оборота—по барабану C и перевести эти отсчеты въ минуты и секунды.

Описанный приборъ, состоящій изъ рамокъ съ нитями и микрометрическаго винта съ раздѣленнымъ барабаномъ, называется *нитянымъ микрометромъ*. Онъ служитъ необходимою составною частью нѣсколькихъ астрономическихъ инструментовъ.

Ошибка эксцентрицитета. 13. Посмотримъ, зачѣмъ употребляются по четыре микроскопа при каждомъ кругѣ, когда, казалось бы, совершенно достаточно и одного. Пусть фиг. 244 представляетъ раздѣленный кругъ, нуль дѣленій котораго находится въ точкѣ N и счетъ дѣленій возрастаетъ по направленію стрѣлки. Пусть C есть точка, служащая дѣйствительнымъ центромъ вращенія круга и лежащая, слѣдовательно, на геометрической оси вращенія всего инструмента. Пусть O—геометрическій центръ круга. При идеальной точности построенія инструмента точки C и O должны совпадать,—только въ этомъ



Фиг. 244. Эксцентрицитетъ раздѣленнаго круга.

случаѣ отсчеты по кругу будутъ математически правильны. Если же точки O и C не совпадаютъ и между ними остается нѣкоторый промежутокъ OC, называемый *эксцентрицитетомъ*, то, съ помощью микроскопа M, вмѣсто дѣйствительнаго показанія Na мы беремъ дугу Nb, меньшую дѣйствительной на величину ba. Такая ошибка, происходящая отъ существованія эксцентрицитета, можетъ быть чрезвычайно велика. Дѣйствительно, наибольшая величина ошибки ab будетъ въ томъ положеніи круга, когда прямыя aO и bC станутъ перпендикулярны къ отрѣзку OC, и тогда $ab=OC$. Мы видѣли, что, напримѣръ, на пулковскомъ кругѣ дуга въ $2'$ выражается длиною $^1/_7$ линіи, дуга въ $1'={}^1/_{14}$ линіи,—слѣдовательно, ничтожное разстояніе между центрами C и O въ $^1/_{14}$ линіи уже влечетъ за собою громадную ошибку съ точки зрѣнія современной астрономіи,—ошибку въ цѣлую минуту. Казалось бы, что эксцентрици-

тетъ въ $^1/_{14}$ линіи неизбѣженъ въ столь большомъ инструментѣ съ такими объемистыми и тяжелыми частями. Нѣтъ, современные механики, при построеніи большихъ инструментовъ, умѣютъ такъ правильно обточить, пришлифовать и центрировать соотвѣтствующія части инструмента, что эксцентрицитетъ измѣряется лишь сотыми долями линіи и въ лучшихъ инструментахъ едва достигаетъ величины $^1/_{750}$ линіи.

Тѣмъ не менѣе, какъ легко сообразить, даже эксцентрицитетъ въ $^1/_{750}$ линіи даетъ ошибку въ углѣ болѣе 1 секунды. Чтобы уничтожить и эту погрѣшность, отсчитываютъ дѣленія двумя микроскопами, расположенными приблизительно по одному изъ діаметровъ круга. Дѣйствительно, отсчитавъ съ помощью второго микроскопа M' по направленію стрѣлки дугу Nkb', вмѣсто дуги Nka', мы получаемъ величину, большую истинной на кусочекъ $a'b'$, равный ab. Итакъ, насколько мы въ первый разъ получили менѣе истиннаго отсчета, настолько во второй разъ имѣемъ болѣе,—отсюда ясно, что, взявъ величину, среднюю изъ 2 отсчетовъ, получимъ истинный результатъ, избавившись отъ ошибки эксцентрицитета.

Употребленіе четырехъ микроскоповъ, при чемъ берется среднее арифметическое изъ четырехъ отсчетовъ, еще болѣе увеличиваетъ точность. Кромѣ того, въ этомъ случаѣ уничтожается еще одна изъ ошибокъ инструмента. Металлическій кругъ 48-ми дюймовъ, т.-е. болѣе полутора аршинъ, въ діаметрѣ имѣетъ порядочный вѣсъ и, находясь въ вертикальномъ положеніи, нѣсколько провисаетъ отъ дѣйствія своей собственной тяжести, отступая отъ геометрически правильной круговой формы и принимая видъ овала. Конечно, и здѣсь идетъ дѣло объ измѣненіяхъ формы на величины, неуловимыя для простого глаза или для такихъ грубыхъ мѣръ, какъ наши линіи и даже миллиметры. Математическая теорія этого явленія показываетъ, что для уничтоженія погрѣшностей отсчитыванія въ этомъ случаѣ слѣдуетъ имѣть 4 микроскопа, расположенныхъ по двумъ діаметрамъ круга, наклоненнымъ подъ угломъ 45° къ горизонту. Описываемый нами меридіанный кругъ, а также инструментъ, изображенный на фиг. 246 и 247, имѣютъ по 4 микроскопа. Въ нѣкоторыхъ же новѣйшихъ инструментахъ имѣются даже по 8 микроскоповъ при каждомъ раздѣленномъ кругѣ.

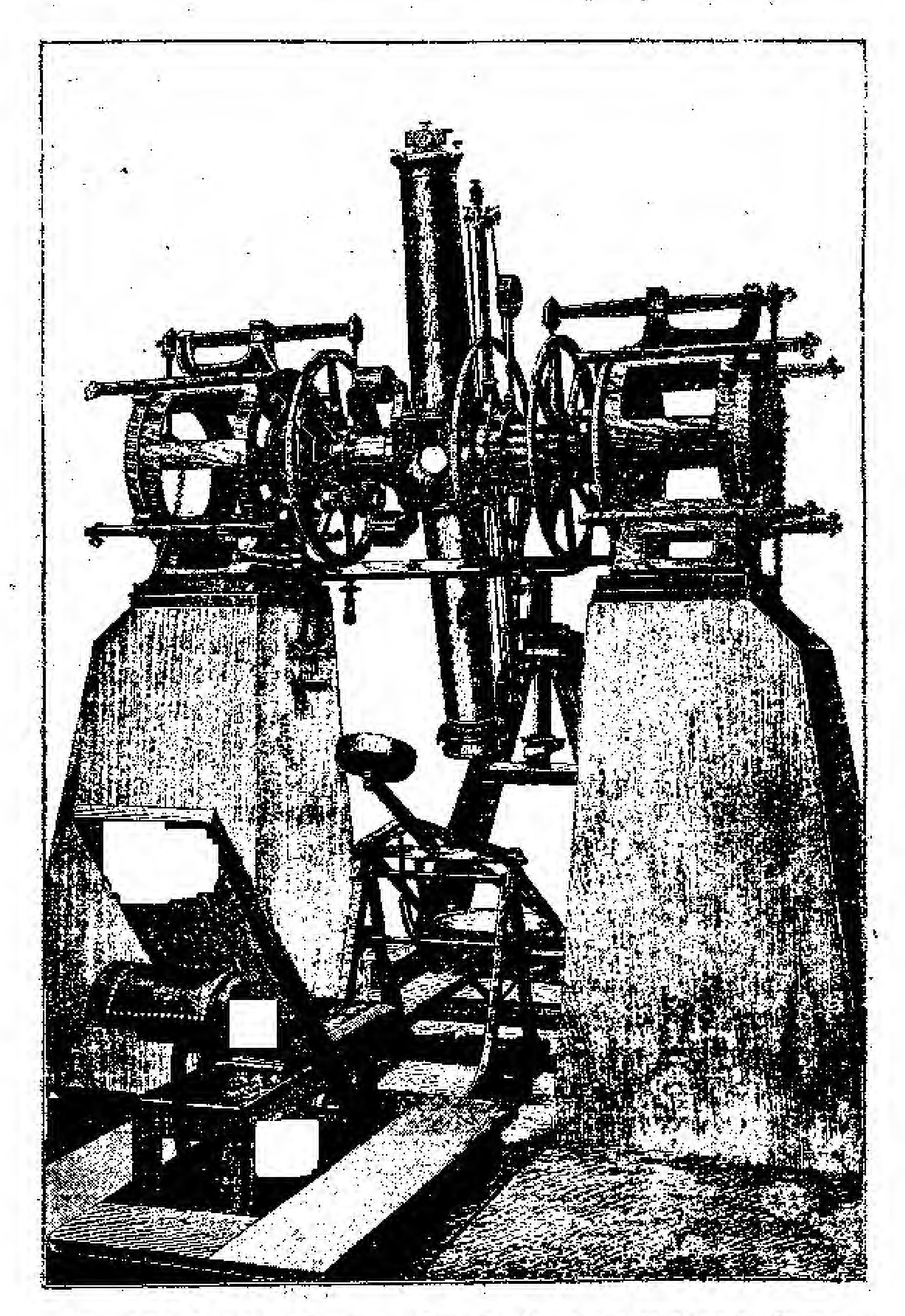
Опредѣленіе склоненій меридіаннымъ кругомъ.

14. Посмотримъ теперь, какъ опредѣляются склоненія меридіаннымъ кругомъ. Такъ какъ этимъ инструментомъ наблюдается звѣзда только въ моментъ прохожденія ея черезъ меридіанъ, то проще опредѣлять не прямо склоненіе, а находить его изъ зенитнаго

разстоянія, отсчитаннаго по кругу, потому что въ моментъ кульминаціи склоненіе свѣтила связано съ его зенитнымъ разстояніемъ очень простымъ соотношеніемъ. Вернемся на минуту къ нашей фиг. 232. Звѣзда σ' кульминируетъ; въ этотъ моментъ $\sigma'Q = ZQ - Z\sigma'$; но $Z\sigma' = z$ есть зенитное разстояніе, $\sigma'Q = \delta$ — склоненіе звѣзды; наконецъ, дуга ZQ, равная дугѣ PN, есть географическая широта φ мѣста наблюденія; поэтому $\delta = \varphi - z$.

Итакъ, дѣло сводится къ опредѣленію зенитнаго разстоянія. Чтобы найти его, надо знать, какой отсчетъ получится на кругѣ, когда труба направлена *точно на зенитъ*. Это находятъ съ помощью „надиръ-горизонта". Такъ называется сосудъ съ ртутью, поставленный внизу подъ трубою. Направляютъ трубу объективомъ внизъ, т.-е. къ надиру. Освѣщаютъ сѣтку трубы. Сѣтка находится въ фокусѣ объектива; слѣдовательно, исходящіе отъ нея свѣтовые лучи выйдутъ изъ объектива внизъ параллельными. Если труба совершенно вертикальна, то эти лучи упадутъ на ртутное зеркало перпендикулярно къ поверхности ртути, которая, конечно, вполнѣ горизонтальна. Но въ такомъ случаѣ эти лучи и отразятся отъ ртути подъ прямыми углами, т.-е. пойдутъ назадъ по своему прежнему направленію параллельнымъ пучкомъ, который, пройдя чрезъ объективъ, дастъ изображеніе въ фокусѣ. Смотря сверху, чрезъ окуляръ, наблюдатель увидитъ и дѣйствительную сѣть и ея изображеніе — вполнѣ совпадающими. При малѣйшемъ уклоненіи трубы отъ строго вертикальнаго направленія такого совпаденія уже не будетъ. Достигнувъ поворотами трубы полнаго совпаденія, наблюдатель дѣлаетъ отсчеты на микроскопахъ, беретъ среднее и узнаетъ, стало-быть, отсчетъ, соотвѣтствующій надиру. Чтобы получить отсчетъ зенита, слѣдуетъ лишь къ найденному результату прибавить 180°. Наконецъ, зенитное разстояніе какого-нибудь свѣтила есть *разница отсчетовъ между двумя направленіями трубы* — на зенитъ и на данное свѣтило.

Повѣрку положенія точки зенита производятъ и послѣ, отъ времени до времени, такъ что надиръ-горизонтъ всегда находится при инструментѣ. Онъ помѣщается между устоями инструмента на каменномъ основаніи, подъ поломъ зданія, въ особомъ углубленіи, закрываемомъ крышкою. Наша фиг. 238 изображаетъ старинную модель меридіаннаго круга. Въ настоящее время фирма Repsold строитъ инструменты нѣсколько иного типа; главное отличіе ихъ отъ прежнихъ заключается въ томъ, что концы горизонтальной оси инструмента лежатъ не прямо на каменныхъ устояхъ, а вложены въ



Фиг. 245. Меридіанный кругъ работы бр. Репсольдъ новѣйшаго образца.

особые чугунные барабаны, по окружности которыхъ прикрѣплены длинные микроскопы съ нитяными микрометрами для отсчитыванія дѣленій. Въ Россіи такіе меридіанные круги работы бр. Repsold имѣются въ университетскихъ обсерваторіяхъ въ Кіевѣ и Харьковѣ. Общій видъ этого инструмента представленъ на фиг. 245.

Пассажные инструменты. 15. Любимѣйшимъ инструментомъ по простотѣ обращенія и по точности результатовъ, даваемыхъ имъ, считается у астрономовъ *пассажный инструментъ* или *инструментъ прохожденій* (называютъ его также: *транзитнымъ инструментомъ*, *транзитомъ*, *меридіанною трубой*, *полуденною трубой*). Это не что иное, какъ упрощенный меридіанный кругъ, лишенный главной его составной части— вертикальнаго раздѣленнаго круга. Такимъ образомъ, пассажнымъ инструментомъ нельзя опредѣлять склоненій. Онъ служитъ только для опредѣленія прямыхъ восхожденій и, главнымъ образомъ, для опредѣленія времени и повѣрки часовъ.

Большой пассажный инструментъ Пулковской обсерваторіи вышелъ изъ знаменитой въ свое время (въ первой половинѣ XIX в.) мастерской Эртеля (Ertel) въ Мюнхенѣ. Высота гранитныхъ устоевъ, поддерживающихъ ось вращенія инструмента — 7 фут. надъ поломъ. Длина оси 46,5 дюймовъ. Объективъ трубы имѣетъ отверстіе 5,85 дюйма и фокусное разстояніе $8^1/_2$ футовъ; 4 окуляра даютъ увеличенія отъ 95 до 292. Сѣтка, какъ и въ меридіанномъ кругѣ, состоитъ изъ двухъ весьма близкихъ горизонтальныхъ нитей и 9-ти вертикальныхъ, изъ которыхъ средняя совпадаетъ съ плоскостью меридіана. На оси трубы имѣются 2 малыхъ (18,8 дюйм.) раздѣленныхъ круга, которые служатъ не для отсчитыванія зенитныхъ разстояній, а лишь для приблизительнаго наведенія трубы на нужную точку неба (такіе круги зовутся „кругами-искателями“). Инструментъ прикрытъ балдахиномъ, поддерживаемымъ четырьмя колоннами, между которыми повѣшены драпри. Во время наблюденій балдахинъ отвозится на колесцахъ по рельсамъ въ сторону отъ инструмента. Подобныя предохранительныя палатки есть и при слѣдующихъ двухъ инструментахъ, а также при описанномъ выше меридіанномъ кругѣ.

Кромѣ этого пассажнаго инструмента, работающаго въ плоскости меридіана, Пулковская обсерваторія имѣетъ еще большой пассажный инструментъ Репсольда, установленный въ первомъ вертикалѣ. Этотъ инструментъ утвержденъ на одной колоннѣ $6^1/_2$ фут. высоты. Труба помѣщается не посрединѣ оси вращенія, какъ у предыдущихъ инструментовъ, а сбоку. Отверстіе объектива 6,25

дюймовъ и фокусное разстояніе 7 фут. 7 дюйм., увеличеніе 270. Круга съ точными дѣленіями нѣтъ; маленькій кругъ-искатель раздѣленъ только отъ 10′ до 10′. Сѣть состоитъ изъ двухъ горизонтальныхъ нитей, 15-ти неподвижныхъ вертикальныхъ и одной вертикальной нити, движущейся микрометрически.

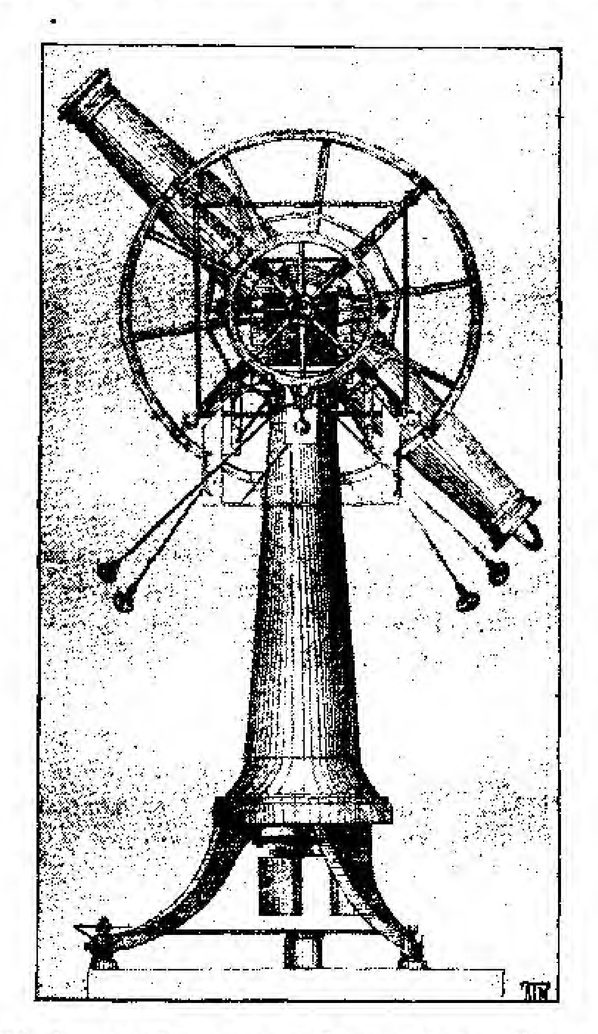
Вертикальные круги.

16. Инструменты, служащіе для опредѣленія времени прохожденія свѣтила чрезъ какой-угодно вертикалъ (въ частномъ случаѣ и чрезъ меридіанъ) и для опредѣленія зенитнаго разстоянія въ этомъ вертикалѣ, называются *вертикальными кругами*.

На фигурахъ 246 и 247 изображенъ пулковскій большой вертикальный кругъ Эртеля. Онъ состоитъ изъ горизонтальной оси, съ одного конца которой прикрѣплена труба. На оси два вертикальныхъ круга. Одинъ—малый на концѣ оси, противоположномъ трубѣ, — служитъ для наведенія трубы; это кругъ-искатель. По другому большому кругу (близъ трубы) производятся точные отсчеты при помощи 4-хъ микроскоповъ съ нитяными микрометрами. Горизонтальная ось съ трубою и всѣми другими частями вращается вокругъ вертикальнаго стержня, проходящаго черезъ чугунный штативъ трубы; на фигурахъ видны (внизу, между ножками колонны) двѣ гири, привѣшенныя къ этому стержню, съ помощью ихъ верхняя часть инструмента плотно прижата къ верхнему срѣзу чугунной колонны. На фиг. 247 (слѣва, подъ горизонтальною осью) видна еще гиря, служащая противовѣсомъ тяжелому правому концу оси, несущему на себѣ трубу. Кромѣ того, на рисункахъ изображены ручки для сообщенія инструменту микрометрическаго движенія какъ по высотѣ, такъ и по азимуту, лампа для освѣщенія нитей внутри трубы, квадратная рама съ 4-мя микроскопами и проч. Размѣры этого инструмента таковы: объективъ 5,9 дюйм. въ діаметрѣ, съ фокуснымъ разстояніемъ 6 фут. 5 дюймовъ; 3 окуляра увеличиваютъ въ 77, 149 и 215 разъ. Микроскопы для отсчитыванія увеличиваютъ въ 32 раза и даютъ чрезвычайно ясныя изображенія. Внѣшній діаметръ главнаго круга 43 дюйма, дѣленія черезъ 2′. Сѣть состоитъ изъ 2-хъ вертикальныхъ и 3-хъ горизонтальныхъ нитей. Подъ горизонтальною осью на верхнемъ концѣ колонны расположенъ малый горизонтальный кругъ, который не имѣетъ точныхъ дѣленій и служитъ только для приблизительной установки по азимуту и поворотовъ всего инструмента на 180°, чтобы можно было каждую звѣзду наблюдать 2 раза, при двухъ противоположныхъ положеніяхъ круга. Замѣтимъ, что этотъ инструментъ употребляется только для наблюденій въ меридіанѣ или близко

отъ него; поэтому въ точно раздѣленномъ азимутальномъ кругѣ нѣтъ необходимости.

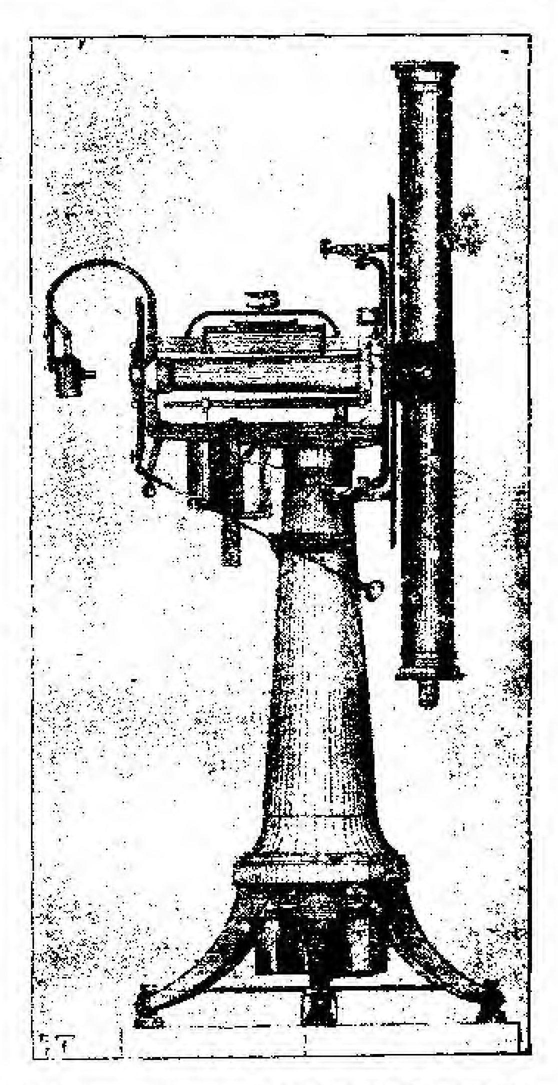
Инструменты, имѣющіе, кромѣ вертикальнаго круга, и еще мелко раздѣленный кругъ горизонтальный, служащій для точнаго опре-



Фиг. 246. Пулковскій вертикальный кругъ Эртеля. Видъ съ лица.

дѣленія азимутовъ свѣтилъ,—мало употребительны. Только въ немногихъ обсерваторіяхъ (наприм., въ Палермо, Гринвичѣ, Страсбургѣ) есть подобные инструменты, называемые иногда *альтазимутами*. На фиг. 248 изображенъ одинъ изъ такихъ инструментовъ, построенный *для* берлинской обсерваторіи конструкторомъ Бамбер-

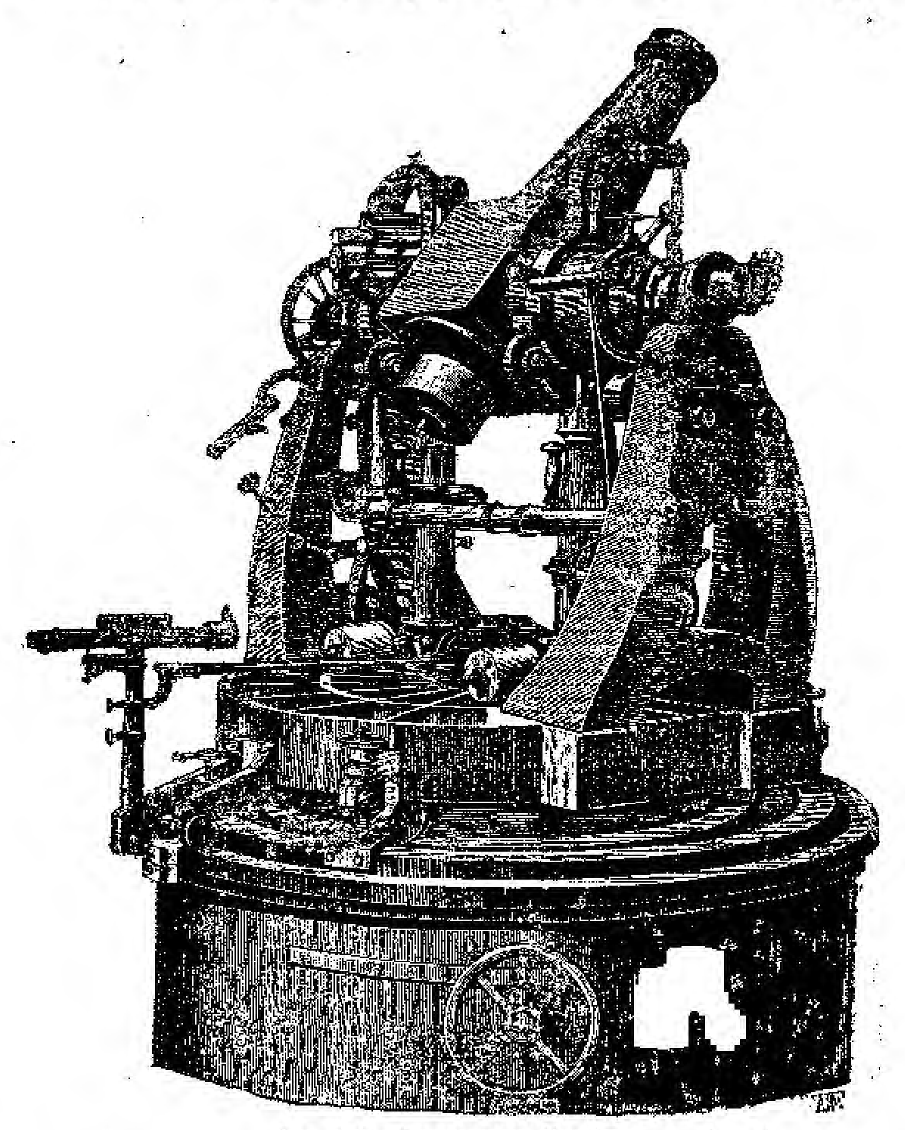
гомъ (Bamberg). Особенность этого инструмента та, что труба его согнута подъ прямымъ угломъ и правый окулярный конецъ ея составляетъ вмѣстѣ съ тѣмъ часть оси вращенія. Лучи свѣта от-



Фиг. 247. Пулковскій вертикальный кругъ Эртеля. Видъ сбоку.

ражаются подъ прямымъ угломъ въ призмѣ съ полнымъ внутреннимъ отраженіемъ, помѣщенной въ средней кубической части трубы. Въ послѣднее время все чаще снабжаютъ астрономическіе инструменты ломаными трубами, вслѣдствіе ихъ несомнѣннаго удобства,

состоящаго въ томъ, что окуляръ, а вмѣстѣ съ нимъ и наблюдатель, остаются неподвижными при вращеніяхъ трубы. Такое расположеніе имѣютъ, напримѣръ, переносные вертикальные круги



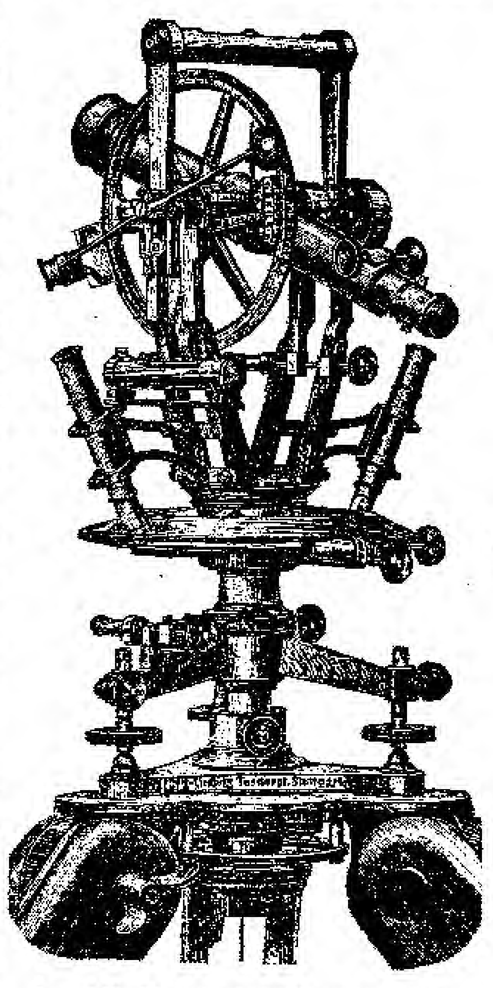
Фиг. 248. Альтазимутъ Бамберга.

бр. Репсольдъ, получившіе большое распространеніе, какъ самые удобные и точные инструменты для экспедицій [11]).

---

[11]) „Экваторіальная камера" Московской обсерваторіи, изображенная на

Малые переносные инструменты, служащіе для опредѣленія азимутовъ и зенитныхъ разстояній и снабженные горизонтальнымъ и вертикальнымъ раздѣленными кругами, носятъ названіе *универсальныхъ инструментовъ*, или *теодолитовъ*. Они служатъ въ экспедиціяхъ для опредѣленія времени, географической широты, для съемокъ географической карты мѣстностей и проч. На фиг. 249 мы даемъ изображеніе теодолита, служащаго для обыкновенныхъ, такъ сказать, не „астрономически точныхъ", географическихъ работъ. Какъ видно изъ рисунка, здѣсь даже нѣтъ микроскоповъ съ нитяными микрометрами для отсчитыванія дѣленій: ихъ замѣняютъ ноніусы, и чтеніе дѣленій облегчается лишь простыми зрительными трубками.



Фиг. 249. Универсальный инструментъ.

Погрѣшности наблюденій.

17. Несмотря на высокую степень совершенства современныхъ инструментовъ, малыя погрѣшности въ опредѣленіяхъ координатъ все-таки неизбѣжны. Происходятъ онѣ или отъ неправильностей построенія инструмента или отъ неправильной его установки. Правда, въ лучшихъ инструментахъ всегда существуютъ вспомогательные винты и другія приспособленія, которыми можно на малыя величины измѣнять какъ взаимное расположеніе частей инструмента, такъ и положеніе всего инструмента въ пространствѣ, — наприм., подвигать окулярную сѣтку вправо, влѣво, вверхъ, внизъ, впередъ

фигурѣ 71 (томъ I, стр. 347) имѣетъ также согнутую подъ прямымъ угломъ трубу.

и назадъ, передвигать центръ раздѣленнаго круга относительно оси вращенія, дѣйствуя на винты, закрѣпляющіе кругъ на этой оси, измѣнять направленіе и наклоненіе къ горизонту самой оси вращенія и т. п. Однако, достиженіе геометрической правильности— *невозможно*. Если ни руки человѣческія, ни машины не въ состояніи математически правильно даже провести прямую на бумагѣ, возстановить перпендикуляръ, провести двѣ параллельныя прямыя и т. п., то тѣмъ болѣе невозможно геометрически правильно обточить металлическій кругъ, идеально точно нанести на немъ дѣленія, наконецъ, установить весь инструментъ въ совершенно правильномъ положеніи. Да если бы такая правильность и была случайно достигнута, то она существовала бы лишь одно мгновеніе и сейчасъ же была бы нарушена различными возмущающими причинами, каково, напримѣръ, неизбѣжное вліяніе температуры, неравномѣрно измѣняющей объемы различныхъ частей инструмента, и проч.

Конечно, какъ неправильности построенія и установки инструмента, такъ и происходящія отсюда ошибки въ опредѣленіяхъ,— величины ничтожно малыя, но не забудемъ, что дѣло идетъ о точности до сотыхъ или, по крайней мѣрѣ, десятыхъ долей секунды угла. Мы привыкли произносить слово „секунда", даже дѣлать выкладки съ этою величиною, иногда не представляя себѣ ясно, что̀ это такое—секунда угла? Длина окружности, какъ извѣстно, выражается произведеніемъ $2\pi R$, гдѣ R—радіусъ и $\pi=3,14159$; окружность содержитъ 360.60.60 секундъ дуги, т. е. $(360.60.60)''=2\pi R$, откуда $1''=\frac{2\pi}{360.60.60}R$; дѣлая вычисленіе, получимъ $1''=\frac{1}{206265}R$.

Итакъ, одна секунда дуги равна $\frac{1}{206265}$ части радіуса, иначе, длина радіуса равна длинѣ 206265 кусочковъ дуги, каждый изъ которыхъ есть $1''$ дуги. Отсюда ясно, что какой-нибудь предметъ представится намъ подъ угломъ въ $1''$ тогда, когда онъ удаленъ отъ глаза на разстояніе, въ 206265 разъ превосходящее длину самого предмета. Высота буквъ этой книги 2^{mm}; каждая изъ буквъ слѣдовательно, представится подъ угломъ въ $1''$ на разстояніи $2^{mm}.206265=$ $=412530^{mm}=412,53$ метра$=196$ саж. Представимъ себѣ, что книга развернута предъ нами въ разстояніи 196 саж., — замѣтимъ ли мы отдѣльныя буквы, различимъ ли строчки? нѣтъ, мы едва различимъ самую книгу, не будемъ въ состояніи даже сказать, книга ли это съ печатью, или просто лоскутъ сѣрой бумаги. Астрономическіе инструменты дали бы возможность измѣрить угловую величину

буквъ на такомъ разстояніи, десятую часть этой величины и даже десятую десятой. Угловой діаметръ полной луны 31′ 8″; пусть читатель представитъ себѣ $\frac{1}{1868}$ часть этого діаметра, — это будетъ одна секунда, и, слѣдовательно, астрономическими инструментами опредѣляются углы съ точностью до $\frac{1}{18680}$ и даже $\frac{1}{186800}$ части луннаго діаметра. Для сравненія замѣтимъ, что самый зоркій глазъ перестаетъ уже различать пару звѣздъ, какъ два отдѣльныхъ предмета, если разстояніе между ними меньше 200″; предѣлъ же видимости несамосвѣтящихъ земныхъ предметовъ — значительно ниже.

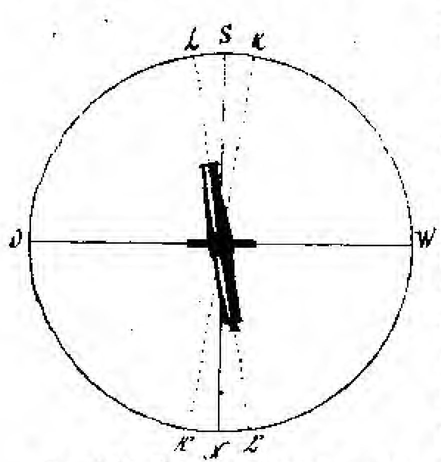
Мы уже упоминали раньше о нѣкоторыхъ изъ ошибокъ при наблюденіяхъ, съ которыми приходится считаться астроному, которыя ему надо уничтожать или, по крайней мѣрѣ, уменьшать тѣмъ или другимъ способомъ, если онъ желаетъ получить весьма точные результаты. Конечно, тѣ неправильности, о которыхъ говорилось выше, не единственныя. Не вдаваясь въ подробное описаніе всѣхъ подобнаго рода ошибокъ, мы теперь скажемъ еще о нѣкоторыхъ наиболѣе важныхъ и, главнымъ образомъ, о такихъ, исправленіе которыхъ влечетъ за собою необходимость особыхъ приспособленій въ устройствѣ инструмента, — иначе наше описаніе инструментовъ было бы неполнымъ.

Ошибка коллиминаціи. Перекладываніе инструментовъ.

18. Точное наведеніе трубы угломѣрнаго инструмента на данный предметъ называется *коллимаціей*; прямая, соединяющая центръ объектива съ центромъ нитяной сѣти, зовется *коллимаціонною линіей*; ошибка въ положеніи этой линіи — *ошибкою коллимаціи*. Чтобы выяснить этотъ родъ ошибки, беремъ для примѣра пассажный инструментъ, расположенный въ меридіанѣ. Труба этого инструмента должна быть совершенно перпендикулярна къ оси вращенія. Только при выполненіи этого условія, труба при вращеніи не выходитъ изъ плоскости меридіана и средняя ея нить все время совпадаетъ съ линіей небеснаго меридіана даннаго мѣста. Если же указанное условіе не выполнено, то, какъ это легко себѣ представить, оптическая ось трубы при вращеніи будетъ описывать на небѣ не меридіанъ, а нѣкоторый малый кругъ небесной сферы, параллельный меридіану. Угловое разстояніе между небеснымъ меридіаномъ и этимъ малымъ кругомъ и есть ошибка коллимаціи. Она можетъ быть устранена передвиженіемъ въ соотвѣтствующую сторону сѣти нитей до тѣхъ поръ, пока коллимаціонная линія не сдѣлается совершенно перпендикулярна къ оси вращенія трубы. Хотя въ этомъ

положенія коллимаціонная линія можетъ и не совпадать съ оптическою осью трубы, однако это не влечетъ за собою какой-либо новой ошибки въ *наблюденіяхъ*. Чтобы узнать, на сколько надо перемѣстить сѣть нитей, а также, чтобы вполнѣ избавиться отъ ошибки коллимаціи, такъ какъ геометрически точная установка сѣти невозможна, да и не могла бы сохраниться,—употребляютъ пріемъ, влекущій за собою весьма важную особенность въ устройствѣ инструмента.

Пусть фиг. 250 представляетъ трубу пассажнаго инструмента въ ея горизонтальномъ положеніи. Если коллимаціонная ошибка существуетъ, то коллимаціонная линія указываетъ не на точку юга S (на фиг. 250 $SWNO$—кругъ горизонта, N—точка сѣвера), а на нѣкоторую точку L къ востоку отъ меридіана (или на точку K къ западу отъ него). Опредѣляя моментъ кульминаціи звѣзды, мы отмѣтимъ моментъ болѣе ранній, чѣмъ истинный моментъ кульминаціи (или болѣе поздній при второмъ положеніи K). Представимъ теперь себѣ, что труба съ осью снята съ своего мѣста, перевернута и положена такъ, чтобы та цапфа, которая прежде была къ востоку, теперь направилась къ западу, и наоборотъ—прежняя западная цапфа легла въ гнѣздо восточной цапфы.

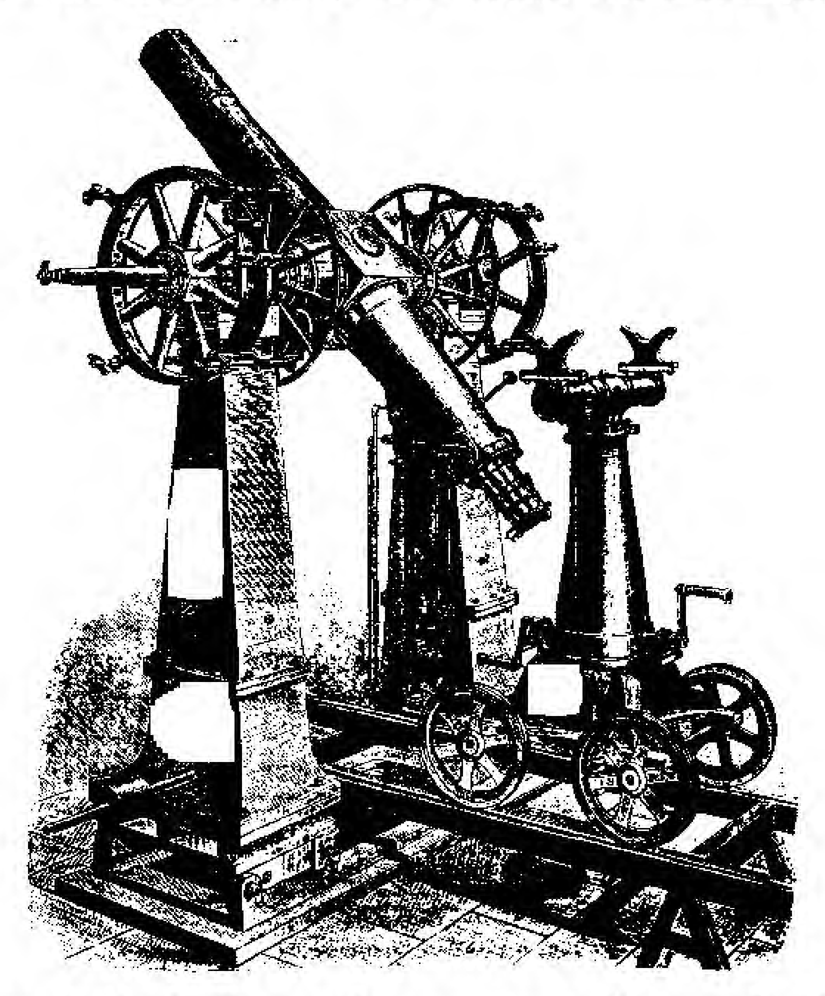


Фиг. 250. Коллимаціонная ошибка.

Очевидно, если прежде труба имѣла направленіе $L'L$, то теперь она приметъ направленіе $K'K$ и насколько *раньше* въ первомъ случаѣ совершилось прохожденіе звѣзды черезъ среднюю нить, настолько при второмъ наблюденіи оно совершится *позже* истинной кульминаціи; взявши среднее изъ обоихъ наблюденій, мы получили бы моментъ прохожденія черезъ меридіанъ NS, т. е. истинный моментъ кульминаціи, уничтоживъ ошибку коллимаціи.

Такое перекладываніе трубъ и дѣлается на самомъ дѣлѣ. Для этой цѣли цапфы не вложены во втулки, а свободно лежатъ на своихъ подушкахъ, и остальныя части инструментовъ такъ расположены, что не мѣшаютъ перекладыванію оси съ трубою. Малыя, переносныя трубы перекладываютъ отъ руки, для перекладыванія большихъ трубъ, имѣющихъ постоянную установку, существуютъ

особыя болѣе или менѣе сложныя приспособленія. Чаще всего для этой цѣли употребляются особыя телѣжки, одна изъ которыхъ представлена на фигурѣ 251, изображающей меридіанный кругъ работы Лондонскихъ конструкторовъ Troughton & Simms (діаметръ объектива трубы=8 дюйм.). Такая телѣжка подвозится по рель-



Фиг. 251. Меридіанный кругъ работы конструкторовъ „Троутонъ и Симсъ".

самъ подъ ось трубы, вращеніемъ рукоятки средній стержень поднимается и захватываетъ ручками, имѣющими форму буквы *Y*, ось трубы, поднимая ее вверхъ; затѣмъ повертываютъ стержень на 180° и, вращая рукоятку обратно, опускаютъ осторожно цапфы опять на ихъ подушки.

Зубчатыя колеса и другія части механизмовъ для перекладыванія такъ расчитаны, что оно совершается съ большою легкостью. Такъ, *напримѣръ, вся верхняя* часть *Пулковскаго* пассажнаго инструмента въ 1-мъ вертикалѣ, о которомъ упомянуто въ § 15, имѣетъ вѣсъ 25 пудовъ; несмотря на то, перекладываніе производится $8^1/_2$ оборотами рукоятки, сила нажатія на которую не превышаетъ $2^1/_2$ фунтовъ. Въ нѣкоторыхъ новѣйшихъ инструментахъ *заграничныхъ обсерваторій примѣняются* болѣе сложные механизмы для перекладыванія, такъ что громадныя трубы, формою и размѣрами напоминающія крупповскія пушки, перекладываются съ легкостью пера однимъ поворотомъ рычага и такъ быстро, что наблюдатель, прослѣдивъ прохожденіе свѣтила черезъ нѣсколько вертикальныхъ нитей поля зрѣнія при восточномъ уклоненіи трубы и быстро переложивъ затѣмъ инструментъ, успѣваетъ пронаблюдать прохожденіе черезъ нити и во второмъ ея положеніи. Для инструментовъ, имѣющихъ вращеніе по азимуту, очевидно, въ перекладываніи нѣтъ надобности, его замѣняетъ поворотъ на 180°, такъ что, напримѣръ, *пулковскій* вертикальный кругъ Эртеля (фиг. 246 и 247) не можетъ быть переложенъ. Не перекладываются также рефракторы и другіе инструменты, которые описываются дальше.

Наклоненіе оси. Уровень. 19. Оси вращенія всѣхъ инструментовъ, описанныхъ выше, должны имѣть строго горизонтальное положеніе, иначе раздѣленные круги не будутъ вертикальны, а слѣдовательно, и отсчеты по нимъ не дадутъ истинныхъ зенитныхъ разстояній. Равнымъ образомъ и въ пассажныхъ инструментахъ, не имѣющихъ вертикальныхъ круговъ, наклоненіе оси къ горизонту повлечетъ за собою неправильности въ опредѣленіи времени или прямыхъ восхожденій. Установка оси въ строго горизонтальномъ положеніи производится посредствомъ „уровня съ воздушнымъ пузырькомъ“, который описывается во всѣхъ курсахъ физики. Въ общихъ чертахъ, какъ извѣстно, такой уровень состоитъ изъ стеклянной трубки, внутренняя полость которой въ разрѣзѣ имѣетъ форму букву *O*, положенной горизонтально, т. е. она выточена по дугѣ круга. Трубка наполнена спиртомъ или эфиромъ, которые однако не заполняютъ всей трубки, — остается пузырекъ паровъ жидкости.

Вслѣдствіе внутренней выпуклости трубки, пузырекъ, при горизонтальномъ положеніи прибора, занимаетъ верхнюю часть трубки и стоитъ посрединѣ ея. При наклоненіи уровня въ ту или другую сторону пузырекъ перемѣщается вправо или влѣво. Величина этого

перемѣщенія зависитъ, во-первыхъ, отъ угла наклоненія къ горизонту и, во-вторыхъ, отъ степени кривизны внутренняго канала трубки. Чѣмъ болѣе радіусъ той дуги, по которой отшлифована внутренняя поверхность трубки, тѣмъ болѣе перемѣщается пузырекъ, тѣмъ чувствительнѣе уровень.

Уровень или подвѣшивается къ оси инструмента на особыхъ длинныхъ крючкахъ, или ставится своими ножками на ось сверху, какъ на фиг. 247, или, наконецъ, неизмѣнно соединяется съ инструментомъ, какъ это видно на фиг. 248 и 249. Уровни точныхъ инструментовъ служатъ не только для исправленія положенія оси, но также для опредѣленія ея наклоненія къ горизонту (такъ какъ идеально-горизонтальное положеніе оси недостижимо). Для послѣдней цѣли, на стеклянной трубкѣ прибора, кромѣ средней черты, отмѣчающей середину трубки, нанесены еще въ обѣ стороны дѣленія. По числу дѣленій, на которое отклонится пузырекъ въ ту или другую сторону, судятъ о величинѣ угла уровня съ горизонтомъ, а слѣдовательно, и о наклоненіи оси инструмента къ горизонту. Узнавъ это наклоненіе, вводятъ въ опредѣляемыя координаты соотвѣтствующую поправку.

Очевидно, при этомъ необходимо для каждаго уровня напередъ знать величины угловъ наклоненія, которымъ соотвѣтствуютъ отступленія пузырька на 1,2 и т. д. дѣленій отъ его средняго положенія. Такое изслѣдованіе уровня производятъ съ помощью особаго вспомогательнаго прибора, называемаго „испытателемъ уровней". Главную его часть составляетъ весьма точно нарѣзанный микрометрическій винтъ, при посредствѣ котораго даютъ уровню различныя, заранѣе извѣстныя наклоненія къ горизонту и слѣдятъ за перемѣщеніями пузырька, опредѣляя такимъ образомъ, какому углу соотвѣтствуетъ перемѣщеніе пузырька на данное число дѣленій. Большіе уровни астрономическихъ инструментовъ настолько чувствительны, что пузырекъ отходитъ на одно дѣленіе уже при наклоненіи въ 2—1″ и даже менѣе. Мы замѣтили выше, что чувствительность уровня зависитъ отъ радіуса внутренней кривизны трубки. Оказывается, что въ самыхъ грубыхъ уровняхъ малыхъ переносныхъ снарядовъ это радіусъ уже равенъ $^1/_2$ — 1 саж., въ лучшихъ же уровняхъ большихъ инструментовъ длина радіуса доходитъ до 30 саженъ и болѣе. Здѣсь опять приходится подивиться искусству механиковъ, умѣющихъ точно выточить внутреннюю веретенообразную полость трубки, придавъ ей такую едва уловимую кривизну.

Испытатели уровней представляютъ также точнѣйшіе инструменты, сдѣланные руками человѣка. Пулковская обсерваторія имѣетъ испытатель уровней, построенный механикомъ Брауеромъ (Brauer). Подобно всѣмъ инструментамъ, онъ покоится на особомъ каменномъ устоѣ въ одной изъ залъ главнаго зданія обсерваторіи.

Изслѣдованіе уровней, какъ и всѣ работы, астрономы производятъ съ величайшею тщательностью. Уровень кладется на испытатель задолго до испытанія, чтобы оба прибора успѣли принять одинаковую температуру; обращается вниманіе на измѣненія кривизны трубки отъ температуры, на расширеніе и сжатіе пузырька отъ той же причины. Вывѣренный уровень виситъ или лежитъ на оси угломѣрнаго инструмента во все время наблюденій, при чемъ показанія его записываются предъ каждымъ отсчитываніемъ угла и послѣ него, такъ какъ наклоненіе оси успѣваетъ измѣняться даже за этотъ малый промежутокъ времени отъ разныхъ причинъ,— хотя бы, напримѣръ, отъ вліянія теплоты тѣла самого наблюдателя.

Гнутіе трубъ. 20. Несмотря на то, что трубамъ инструментовъ придается форма наибольшаго сопротивленія сгибанію, гнутіе большихъ трубъ все-таки происходитъ. Объективный и окулярный концы трубы провисаютъ отъ дѣйствія своей собственной тяжести, и коллимаціонная линія уклоняется внизъ. Очевидно, гнутіе всего больше при горизонтальномъ направленіи трубы; оно уменьшается съ увеличеніемъ наклоненія ея къ горизонту и дѣлается равнымъ нулю при вертикальномъ положеніи. Такъ какъ эту причину ошибокъ уничтожить невозможно, то гнутіе изслѣдуется и въ опредѣляемые углы вводятся поправки. Обыкновенно опредѣляютъ гнутіе трубы въ горизонтальномъ ея положеніи, на основаніи чего уже теоретически выводятъ величины гнутія въ другихъ положеніяхъ. Горизонтальное гнутіе изслѣдуется при помощи двухъ малыхъ вспомогательныхъ трубъ, называемыхъ коллиматорами. Эти трубы устанавливаются горизонтально противъ окулярнаго и объективнаго концовъ главной трубы на одной высотѣ съ ея осью вращенія. Смотря черезъ коллиматоръ въ объективъ главной трубы, можно видѣть, насколько перемѣщается сѣть ея подъ вліяніемъ гнутія. Коллиматоры находятся постоянно при инструментѣ и установлены неподвижно на особыхъ каменныхъ столбахъ.

Изслѣдованіе инструментовъ. 21. Въ предыдущемъ мы видѣли, что однѣ изъ ошибокъ, которыя влечетъ за собою несовершенство въ построеніи и установкѣ инструмента, уничтожаются соотвѣтственными приспособленіями въ конструкціи самого инструмента, ошибки же такого рода, что

уничтоженіе ихъ или невозможно, или повлекло бы за собою слишкомъ большую сложность снаряда въ ущербъ его прочности,—хорошо изслѣдуются и вводятся въ опредѣляемыя величины въ видѣ поправокъ. Очевидно, астрономъ-практикъ долженъ хорошо знать теорію употребляемыхъ имъ снарядовъ. Руководясь этою теоріей, онъ долженъ такъ располагать свои наблюденія, чтобы различныя погрѣшности, по возможности, взаимно уничтожались. Пользуясь общею теоріей инструмента и теоріей погрѣшностей въ наблюденіяхъ, астрономъ, прежде чѣмъ приступить къ точнымъ работамъ, долженъ еще изслѣдовать именно тотъ инструментъ, которымъ онъ намѣренъ пользоваться. Онъ долженъ узнать всѣ неправильности его устройства и заранѣе опредѣлить тѣ погрѣшности, которыя войдутъ въ искомыя величины. Подобное изслѣдованіе каждаго вновь полученнаго отъ механика инструмента всегда производится наблюдателями. Результатомъ такой работы бываютъ таблицы, составленныя для даннаго инструмента и указывающія тѣ поправки, которыя необходимо вводить въ измѣренныя величины при различныхъ условіяхъ наблюденія. Работа эта въ высшей степени кропотливая, длящаяся цѣлые мѣсяцы и требующая необыкновенной терпѣливости и трудолюбія. За-то, сдѣлавъ это изслѣдованіе, астрономъ затѣмъ, даже съ посредственнымъ инструментомъ можетъ достигнуть такой точности, какую можно было бы получить только съ совершеннѣйшимъ и драгоцѣннымъ снарядомъ.

Какъ на примѣръ подобныхъ изслѣдованій, укажемъ на изслѣдованіе ошибокъ раздѣленнаго круга. Утомительный и скучный трудъ представляетъ точное опредѣленіе, при помощи микроскоповъ съ нитяными микрометрами, разстояній между каждою парой штриховъ и тѣхъ разницъ, которыя обнаруживаются между дѣйствительнымъ положеніемъ каждаго изъ 10800 штриховъ и тѣмъ положеніемъ, которое онъ долженъ былъ бы занимать на идеально раздѣленномъ кругѣ. Однако, такое изслѣдованіе дѣлается, и ошибки большихъ инструментовъ становятся извѣстными, такъ что впослѣдствіи наблюдателю остается только пользоваться таблицами, заключающими ряды этихъ ошибокъ. Въ случаѣ существованія очень большихъ погрѣшностей въ построеніи инструмента, принимаются, если возможно, мѣры къ ихъ исправленію. Такъ, напримѣръ, были обнаружены большія неправильности въ дѣленіяхъ пулковскаго вертикальнаго круга Эртеля (фиг. 246 и 247), и тогда было поручено Репсольду нанести новыя дѣленія рядомъ съ прежними дѣленіями Эртеля.

Личное уравненіе. Хронографы.

22. Кромѣ описанныхъ выше погрѣшностей наблюденій, виною которыхъ—неправильности въ построеніи и установкѣ инструментовъ, существуетъ еще одинъ видъ погрѣшности, стоящій особнякомъ отъ всѣхъ прежде упомянутыхъ. Это—погрѣшность, происходящая отъ несовершенства аппарата, который воспринимаетъ впечатлѣнія, отъ несовершенства устройства нашей нервной системы. Передача впечатлѣній, отъ органовъ чувствъ къ вмѣстилищу сознанія—мозгу, или обратно - передача волевыхъ импульсовъ отъ мозга къ мускуламъ, суть, несомнѣнно, нѣкоторыя движенія и потому, хотя мало изслѣдованныя, но во всякомъ случаѣ, физическіе процессы, а всякое движеніе, всякій физическій процессъ требуютъ времени для своего совершенія. Вотъ это-то время передачи импульсовъ по нервамъ и служитъ причиною довольно значительной ошибки при работахъ съ пассажнымъ инструментомъ, называемой *личнымъ уравненіемъ.*

Выше уже было описано (§ 11), какъ совершается наблюденіе кульминацій свѣтилъ съ помощью часовъ и трубы. Посмотримъ, какіе процессы здѣсь происходятъ. Ухо наблюдателя получаетъ раздраженіе отъ воздушной волны, произведенной ударомъ маятника часовъ; возбужденіе передается по слуховому нерву къ мозгу; впечатлѣніе, достигшее мозга, переходитъ затѣмъ въ ощущеніе, которое воспринимается сознаніемъ. Подобный же рядъ процессовъ необходимъ и для того, чтобы зрительное раздраженіе, полученное сѣтчаткою глаза въ моментъ пересѣченія звѣздою одной изъ нитей сѣтки, дошло до сознанія. Затѣмъ наблюдатель долженъ еще связать эти два ощущенія и опредѣлить ихъ послѣдовательность во времени. Все это довольно сложная психофизическая работа, которую различные наблюдатели производятъ и не съ одинаковою быстротой и съ различною ловкостью, такъ что личное уравненіе—величина различная для различныхъ лицъ. Быстрота передачи нервныхъ импульсовъ сравнительно невелика и далеко не равняется скорости другихъ чисто физическихъ движеній, каковы, напримѣръ, скорость свѣта и скорость электричества въ проводникахъ. Гельмгольцъ впервые замѣтилъ, что эта быстрота представляетъ конечную величину и можетъ быть измѣрена. Изъ дальнѣйшихъ его опытовъ выяснилось, что у человѣка эта скорость = 35 метрамъ, что равно лишь быстротѣ полета орла и немногимъ превосходитъ быстроту бѣга скаковой лошади [15]).

[15]) Сравн. ст. „Фотографія“ I, 15, § 14.

Несмотря на то, короткій путь отъ периферіи къ центру нервнаго аппарата, или обратно, возбужденіе проходитъ въ малую долю секунды и потому личное уравненіе — величина малая и, слѣдовательно, могло быть замѣчено наблюдателями лишь въ то время, когда астрономическія наблюденія достигли высокой степени точности. И дѣйствительно, личное уравненіе было открыто случайно въ Гринвичѣ только въ 1795 г., при чемъ послужило причиною случая, достойнаго сожалѣнія. Маскелейнъ (Maskelyne), тогдашній директоръ обсерваторіи, замѣтилъ, что его асистентъ отмѣчалъ прохожденіе звѣздъ черезъ меридіанный кругъ всегда на $^1/_2$ и даже $^4/_5$" позже времени истинной кульминаціи, и, считая это слѣдствіемъ небрежности, удалилъ его отъ должности. Однако въ то время не была выяснена сущность явленія,—это открытіе сдѣлалъ лишь Бессель (Friedrich Wilhelm Bessel, 1784 — 1846) уже въ нынѣшнемъ столѣтіи, и вскорѣ астрономы убѣдились въ безвредности этого уклоненія нашего нервнаго аппарата, такъ какъ оно можетъ быть опредѣлено для каждаго наблюдателя и принято затѣмъ во вниманіе при наблюденіяхъ.

Ошибку личнаго уравненія думали уничтожить примѣненіемъ особаго регистрирующаго аппарата, называемаго электрическимъ хронографомъ. Онъ введенъ былъ въ астрономическую практику впервые въ 1848 г. американскими астрономами Бондомъ (W. C. Bond) и Уокеромъ (Walker). Хотя оказалось, что личное уравненіе этимъ путемъ уничтожено быть не можетъ, тѣмъ не менѣе, представляя несомнѣнныя преимущества предъ прежнимъ способомъ, электрическій способъ отсчитыванія принятъ въ настоящее время на многихъ обсерваторіяхъ. Въ Пулковѣ имѣются 4 хронографа Гиппа (Hipp), которыя и употребляются при наблюденіяхъ различными инструментами.

Электрическій хронографъ состоитъ изъ покрытаго бумагою барабана, равномѣрно вращающагося при помощи часового механизма. Два штифта, приводимые въ дѣйствіе электромагнитами, при замыканіи тока прижимаются къ бумагѣ и ставятъ на ней точки, подобно тому, какъ это устроено въ телеграфѣ Морзе. Замыканіе цѣпи, включающей одинъ изъ электромагнитовъ, производится астрономическими часами черезъ каждую звѣздную секунду; замыканіе тока другого электромагнита производитъ наблюдатель нажатіемъ кнопки въ моментъ пересѣченія нитей трубы наблюдаемою звѣздой. Послѣ наблюденія снимаютъ бумагу съ цилиндра и измѣряютъ промежутки между мѣтками, соотвѣтствующими прохожденіямъ звѣздъ

черезъ нити, — и ближайшими секундными штрихами. Сравненіе этихъ промежутковъ съ разстояніями между секундными знаками даетъ доли секунды, соотвѣтствующія моментамъ наблюденія. Личное уравненіе, очевидно, должно существовать и въ этомъ случаѣ, такъ какъ на проведеніе зрительнаго впечатлѣнія къ мозгу, на психическій актъ воспріятія сознаніемъ и на проведеніе волевого импульса къ мускулу пальца,—на все это потребно нѣкоторое время.

Разница личнаго уравненія у различныхъ лицъ можетъ достигать 1",—между знаменитыми наблюдателями Бесселемъ и Аргеландеромъ (F. Argelander, 1799 — 1875) она доходила даже до 1",22,—но обыкновенно она не выше 0",3. Замѣчательно, что *личное уравненіе можетъ быть даже отрицательнымъ*; наблюдатель отмѣчаетъ явленіе раньше, чѣмъ оно совершилось на самомъ дѣлѣ. Напряженное вниманіе, съ которымъ ожидается явленіе, служитъ здѣсь причиною особаго рода галлюцинаціи. Во всякомъ случаѣ личное уравненіе—явленіе сложное. Въ немъ, напримѣръ, играетъ нѣкоторую *роль даже память*. Дѣйствительно, при старомъ способѣ наблюденія,—при такъ называемомъ „методѣ глаза и уха", сравненіе происходитъ между ощущеніями не только различнаго рода, но и различно расположенными во времени, — между ощущеніями настоящими и прошедшими. „Несомнѣно, говоритъ Вольфъ (Wolf. Equation personnelle, ses lois et son origine; 1871), что въ моментъ прохожденія наблюдатель слышитъ не ударъ маятника, а внутренній ударъ, подставляемый его собственною мыслью, точно такъ же, какъ музыкантъ, который не ждетъ, чтобы начать, удара капельмейстерской палочки, но заранѣе проникается мѣрнымъ ритмомъ".

Дѣло экспериментальной психологіи, этой недавно народившейся науки, — подробно изучить всѣ факторы, участвующіе въ описываемомъ явленіи, и выдѣлить вліяніе каждаго изъ нихъ. Астрономія же довольствуется только измѣреніемъ ошибки для каждаго лица и введеніемъ въ наблюденія соотвѣтствующихъ поправокъ. Для измѣренія личнаго уравненія въ настоящее время устроены особые приборы. Въ Пулковской обсерваторіи имѣется подобный приборъ Кайзера. Онъ установленъ въ особой будкѣ, въ разстояніи около 300 футовъ отъ пассажнаго инструмента Эртеля, и состоитъ изъ экрана съ малымъ отверстіемъ, освѣщаемымъ сзади съ помощью зеркалъ свѣтомъ электрической лампы. Экранъ приводится въ равномѣрное движеніе часовымъ механизмомъ, и освѣщенное отверстіе представляетъ искусственную звѣзду, равномѣрно

проходящую черезъ поле зрѣнія пассажной трубы. Тотъ же часовой механизмъ производитъ замыканіе тока въ моменты истиннаго пересѣченія искусственною звѣздой нитей поля зрѣнія. Эти моменты отмѣчаются токомъ на хронографѣ. Между тѣмъ наблюдатель смотритъ въ трубу и съ своей стороны дѣлаетъ отмѣтки на томъ же хронографѣ. Изъ сравненія обоихъ рядовъ отмѣтокъ уже легко опредѣлить величину личнаго уравненія.

Важность опредѣленія координатъ.

23. Изъ всего предыдущаго можно составить достаточно полное понятіе о томъ, съ какими трудностями сопряжено опредѣленіе координатъ, какой напряженной работы требуетъ та точность, которой достигаютъ въ настоящее время при астрономическихъ наблюденіяхъ. Мы легко убѣдимся въ необходимости всѣхъ пріемовъ, увеличивающихъ эту точность, и всѣхъ мелочныхъ предосторожностей при наблюденіяхъ, если обратимъ вниманіе на ту важность, какую имѣетъ опредѣленіе координатъ для теоретической астрономіи. Очевидно, всѣ тѣ знанія, которыя относятся къ движеніямъ небесныхъ свѣтилъ въ пространствѣ, мы можемъ пріобрѣсти, лишь наблюдая измѣненія положеній свѣтилъ на небесной сферѣ, другими словами—опредѣляя измѣненія координатъ со временемъ. Такимъ образомъ, многочисленные томы наблюденій, издаваемые ежегодно обсерваторіями и содержащіе, между прочимъ, ряды опредѣленій координатъ различныхъ свѣтилъ, служатъ сырымъ матеріаломъ, черпая изъ котораго, астрономъ - теоретикъ изслѣдуетъ законы движеній свѣтилъ, законы природы, управляющіе движеніями, изслѣдуетъ причины, нарушающія правильность этихъ движеній, и пр. Въ этихъ рядахъ опредѣленій координатъ заключаются часто всѣ данныя для отрытія новыхъ явленій, до тѣхъ поръ неизвѣстныхъ. Обнаружить эти явленія и открыть законы, ими управляющіе,—опять дѣло астронома-математика.

Часы съ маятникомъ.

24. Лица, лишь поверхностно знакомыя съ нашею наукой, часто думаютъ, что главнѣйшая, и даже чуть ли не исключительная принадлежность астрономической обсерваторіи, это, большая зрительная труба,—гигантскій телескопъ, въ который можно разсматривать отдаленные небесные міры съ увеличеніями въ тысячи разъ. Теперь, зная изъ предыдущаго, что задача астронома не разсматривать только, а точнѣйшимъ образомъ измѣрять, мы скажемъ, что по значенію для астрономической науки, на ряду съ сильно увеличивающими трубами слѣдуетъ поставить и точные из-

мѣрительные инструменты. При обсужденіи достоинствъ какой-нибудь обсерваторіи слѣдуетъ знать не только, какихъ размѣровъ главная труба этой обсерваторіи, но также — есть ли въ ней хорошіе измѣрительные инструменты: меридіанный кругъ, пассажный снарядъ и пр. По той же причинѣ, описывая астрономическіе инструменты, нельзя не упомянуть еще объ одномъ изъ нихъ, который занимаетъ по важности одно изъ первыхъ мѣстъ и о которомъ, между тѣмъ, чаще всего забываютъ въ сочиненіяхъ, общедоступно излагающихъ успѣхи науки о небѣ, описывающихъ методы и инструменты, которыми она пользуется. Мы говоримъ объ *астрономическихъ часахъ*.

Время есть главнѣйшій элементъ при всѣхъ астрономическихъ работахъ, — поэтому на точнѣйшее опредѣленіе времени астрономами было обращено большое вниманіе. Совмѣстными усиліями теоретиковъ и практиковъ - строителей инструментовъ — и въ измѣреніи времени теперь достигнута такая точность, дальше которой, кажется, некуда итти. Въ постоянныхъ обсерваторіяхъ употребляются, главнымъ образомъ, часы съ маятникомъ, какъ дающіе наибольшую точность. Время, какъ извѣстно, здѣсь измѣряется размахами маятника, которые вполнѣ равновременны или „изохроничны“. Остальной механизмъ служитъ для сообщенія маятнику толчковъ, поддерживающихъ его качанія, и затѣмъ для счета этихъ качаній, для чего на циферблатѣ часовъ имѣются три указателя — стрѣлки: секундная, минутная и часовая. Дѣйствующею силою служитъ вѣсъ равномѣрно спускающейся гири. Астрономическіе часы никогда не бываетъ съ боемъ, такъ какъ быстрое движеніе колесъ во время выполненія инструментомъ этой функціи и удары молотка производятъ сотрясенія, вредно отзывающіяся на ходѣ маятника. Такимъ образомъ, весь механизмъ часовъ состоитъ изъ маятника и 5—6 зубчатыхъ колесъ, между тѣмъ, цѣнность этого инструмента измѣряется *тысячами* рублей, что объясняется, конечно, необыкновенною тщательностью работы.

Главная часть часовъ — маятникъ. Теорія маятника составляетъ одинъ изъ вопросовъ теоретической механики. Механика различаетъ два рода маятниковъ: *математическій*, состоящей изъ тяжелой точки, висящей на гибкой, нерастяжимой и невѣсомой нити, и *физическій*, построенный изъ физическихъ тѣлъ, имѣющихъ значительный объемъ и вѣсъ, каковы: стержни, металлическая чечевица и пр. Изслѣдованіе условій дѣйствія тяжести на идеальный математическій маятникъ показываетъ, что: 1) размахи одинаковой

величины вполнѣ *изохроничны* (*равновременны*); 2) размахи различной величины вообще не изохроничны, однако при малыхъ углахъ размаха, не превосходящихъ 10°, разницы временъ качаній ничтожны, почему точные часы и устраиваются такимъ образомъ, что маятникъ дѣлаетъ лишь малые размахи; 3) время одного качанія зависитъ отъ *напряженія силы тяжести въ данной точкѣ земной* поверхности: маятникъ качается тѣмъ быстрѣе, чѣмъ напряженіе силы тяжести больше; 4) время качанія зависитъ также отъ длины маятника: маятникъ качается тѣмъ медленнѣе, чѣмъ онъ длиннѣе. Послѣдніе два закона качаній маятника, какъ извѣстно, выражаются формулою $t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, гдѣ t—время одного колебанія, l—длина маятника и g — ускореніе силы тяжести.

Знаменитый Гюйгенсъ (Chr. Huygens, 1629 — 1695) нашелъ, что тѣ же законы справедливы и для физическаго маятника. Онъ указалъ также, что слѣдуетъ считать длиною физическаго маятника. Будемъ разсматривать физическій маятникъ, какъ совокупность безконечнаго множества тяжелыхъ точекъ. Каждая точка, колеблясь отдѣльно, вполнѣ слѣдовала бы изложеннымъ выше законамъ и колебалась бы быстрѣе или медленнѣе, смотря по разстоянію ея отъ оси привѣса. Но разъ всѣ точки неизмѣнно связаны другъ съ другомъ, то онѣ принуждены совершать одновременныя колебанія. При этомъ, очевидно, весь маятникъ будетъ колебаться быстрѣе, чѣмъ равной длины математическій маятникъ: всѣ точки, лежащія выше крайней нижней точки, ускорятъ ея движеніе, заставятъ ее качаться быстрѣе, чѣмъ если бы она была одна. Гюйгенсъ показалъ далѣе, что внутри фигуры физическаго маятника существуетъ нѣкоторая особая точка, названная имъ *центромъ качанія*, которая колеблется такъ, какъ колебался бы математическій маятникъ, длина котораго равна разстоянію отъ этого центра качанія до оси привѣса. Иначе говоря, — весь физическій маятникъ колеблется такъ, какъ будто вся масса его сосредоточена въ центрѣ качанія. Если считать за длину маятника разстояніе его центра качанія отъ оси привѣса, то вся теорія математическаго маятника вполнѣ приложима и къ маятнику физическому, —формула его качаній въ этомъ случаѣ та же: $t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Гюйгенсъ далъ способъ для теоретическаго и практическаго опредѣленія центровъ качаній физическихъ маятниковъ. Онъ же впервые примѣнилъ маятникъ къ часамъ въ 1656 году. До этой эпохи въ обыденной жизни довольствовались

обыкновенно солнечными часами, а ночью приблизительно опредѣляли время по положенію звѣздъ, астрономы же пользовались песочными, водяными часами и т. п., при чемъ прямое восхожденіе приходилось опредѣлять прямымъ измѣреніемъ угла между даннымъ свѣтиломъ и точкою ♈ или звѣздою, *AR* которой заранѣе извѣстно.

Какъ при работѣ со всякимъ астрономическимъ или физическимъ инструментомъ, такъ и при употребленіи часовъ, наблюдателю приходится считаться съ побочными обстоятельствами, нарушающими правильность показаній прибора. Главнѣйшею причиной, производящею вредное вліяніе на ходъ часовъ, служатъ измѣненія температуры. При увеличеніи температуры маятникъ удлиняется, центръ качаній понижается, качанія происходятъ медленнѣе, часы отстаютъ. При пониженіи температуры обратно — часы бѣгутъ впередъ. Къ счастію, вскорѣ же послѣ изобрѣтенія часовъ съ маятникомъ, найдены были способы совершенно устранить дѣйствіе измѣненій температуры на равномѣрность качаній маятника.

Въ настоящее время, какъ въ астрономическихъ, такъ и въ обыкновенныхъ хорошихъ часахъ съ маятниковъ, употребляютъ главнымъ образомъ два способа *компенсированія* (уравниванія). При одномъ изъ нихъ чечевица маятника виситъ на нѣсколькихъ стержняхъ, сдѣланныхъ изъ разныхъ металловъ. Всѣ стержни связаны въ рамку такимъ образомъ, что одни изъ нихъ имѣютъ свободу расширяться только вверхъ, другіе — только внизъ. Различные металлы, какъ извѣстно, не одинаково расширяются отъ теплоты: они имѣютъ разные коэффиціенты расширенія. Въ описываемомъ нами уравнительномъ маятникѣ, путемъ предварительнаго вычисленія, длины стержней такъ разсчитаны и металлы подобраны съ такими коэффиціентами расширенія, что насколько одни стержни при удлиненіи отъ теплоты опускаютъ чечевицу внизъ, настолько другіе поднимаютъ ее вверхъ, такъ что разстояніе отъ точки привѣса до центра качанія, т. е. истинная длина физическаго маятника,—при всякихъ измѣненіяхъ температуры остается одинаковымъ, и времена колебаній маятника отъ температуры не зависятъ.

Другая система компенсаціи состоитъ въ томъ, что вмѣсто тяжелой металлической чечевицы маятникъ несетъ сосудъ со ртутью. Объемъ сосуда и количество ртути такъ разсчитаны, что насколько центръ качанія опускается отъ расширенія внизъ стержня, настолько же онъ поднимается отъ расширенія вверхъ ртути. Длина маятника (разстояніе отъ центра качанія до оси привѣса) и въ этомъ случаѣ остается неизмѣнною.

Другая причина неправильности хода часовъ есть неравенство давленія атмосферы. Каждое тѣло, погруженное въ жидкость, теряетъ часть вѣса, равную вѣсу вытѣсненной жидкости. Это — извѣстный законъ Архимеда. Когда давленіе атмосферы увеличивается, воздухъ становится плотнѣе, вѣсъ воздуха, вытѣсняемаго маятникомъ часовъ, больше, — стало - быть вѣсъ самаго маятника уменьшается, а въ такомъ случаѣ, по 3 - му закону качаній, маятникъ колеблется медленнѣе и часы отстаютъ. Наоборотъ, при пониженіи атмосфернаго давленія часы идутъ впередъ. Мы знаемъ, въ какихъ тѣсныхъ предѣлахъ колеблется атмосферное давленіе; понятно также, какъ ничтоженъ вѣсъ воздуха, вытѣсняемаго маятникомъ, а потому легко видѣть, какъ малы уклоненія въ ходѣ часовъ, происходящія отъ этой причины. Однако, при современной точности наблюденій, астрономы вынуждены принимать ее во вниманіе и вводить въ измѣренія времени соотвѣтствующія поправки. Для каждаго маятника, путемъ тщательныхъ изслѣдованій, разъ навсегда составляется таблица такихъ поправокъ, дающая уклоненія его хода для различныхъ давленій барометра. Разъ маятникъ изслѣдованъ въ этомъ отношеніи, то — обратно — по измѣненію хода часовъ можно опредѣлить измѣненіе давленія атмосферы. Хорошіе астрономическіе *часы могутъ*, такимъ образомъ, *служить барометромъ*.

Во всякой, хорошо обставленной обсерваторіи, имѣется нѣсколько часовъ. Такъ, въ Пулковѣ находятся часы при каждомъ угломѣрномъ инструментѣ и при большихъ трубахъ. Въ особой нишѣ центральной залы обсерваторіи помѣщаются главные, такъ называемые, нормальные часы работы Кесселя (Kessel въ Альтонѣ), отличающіеся удивительною правильностью хода. Они идутъ по звѣздному времени и съ ними сравниваются всѣ остальные часы обсерваторіи. При этихъ часахъ имѣются два маятника — стержневой и ртутный; работаетъ обыкновенно послѣдній. Есть въ Пулковѣ также и другіе нормальные часы работы Тиде (de-Tiede à Berlin), которые установлены въ подвалѣ съ приспособленіемъ для постояннаго давленія воздуха. Такъ какъ, кромѣ того, и температура въ подвалѣ почти не мѣняется, то такимъ образомъ устранены обѣ причины, которыя могли бы разстраивать ходъ этихъ часовъ.

Часы всякой обсерваторіи повѣряются по возможности часто астрономическими наблюденіями. Однако, при такой провѣркѣ обыкновенно не устанавливаютъ часовъ совершенно точно: отъ подвиганія стрѣлокъ и передвиганія вверхъ и внизъ чечевицы маят-

ника, отъ частаго открыванія дверокъ футляра можетъ разстроиться ходъ, попадаетъ пыль и т. п. При провѣркѣ довольствуются опредѣленіемъ неправильности показаній часовъ, не трогая самаго инструмента. Такимъ образомъ, при часахъ всегда виситъ табличка, показывающая время послѣдней провѣрки, обнаруженную тогда неправильность показаній и, наконецъ, *суточный ходъ* часовъ, т. е. количество секундъ, на которое часы отстаютъ или уходятъ впередъ за сутки. Суточный ходъ астрономическихъ часовъ долженъ быть и бываетъ вполнѣ одинаковъ при всѣхъ измѣненіяхъ температуры; поднимая или опуская чечевицу маятника, его можно свести до минимальной величины нѣсколькихъ десятыхъ долей секунды. Итакъ, пусть, напримѣръ, какое-нибудь астрономическое явленіе совершилось по часамъ въ $17^h25^m13^s,3$: извѣстно, что часы были повѣрены 3,4 сутокъ тому назадъ, и тогда обнаружилось, что они показывали на $1^m21^s,5$ меньше истиннаго; кромѣ того, опредѣлено, что суточный ходъ часовъ равенъ $+0^s,7$, т. е. что они отстаютъ въ сутки на $^7/_{10}$ секунды; изъ этихъ данныхъ легко вывести, что истинный моментъ явленія есть: $17^h25^m13^s,3+1^m21^s,5+$ $+0^s,7 . 3,4=17^h26^m37^s,18$. При очень точныхъ наблюденіяхъ принимается во вниманіе, какъ выше было замѣчено, еще измѣненіе суточнаго хода отъ давленія атмосферы (отъ этой причины ходъ мѣняется въ предѣлахъ лишь сотыхъ частей секунды).

Хронометры. 25. Часы съ маятникомъ не могутъ служить переноснымъ инструментомъ. Поэтому при астрономическихъ экспедиціяхъ и въ мореходной астрономіи ихъ замѣняютъ хронометрами, которые, подобно обыкновеннымъ карманнымъ часамъ, могутъ итти во всякомъ положеніи, не боятся ни качки, ни перепрокидыванья, такъ какъ механизмъ ихъ изъятъ изъ-подъ дѣйствія тяжести. Не существуй хронометровъ — опредѣленіе долготъ на морѣ, а стало-быть и плаваніе, — были бы невозможны. Указанное безцѣнное свойство хронометровъ окупается, однако, цѣною довольно сложнаго устройства, и ихъ приготовленіе поэтому сопряжено съ большими механическими трудностями, вслѣдствіе чего они и не даютъ той степени точности, какъ часы съ маятникомъ. Тѣмъ не менѣе, въ настоящее время и хронометры доведены до высокой степени совершенства.

Двигателемъ въ хронометрѣ служитъ пружина, заключенная въ особомъ барабанѣ и заводимая ключемъ. Время измѣряется размахами обручика, называемаго *балансиромъ*. Размахи сообщаются балансиру тонкою пружинкой, которую балансиръ закручиваетъ и раскручиваетъ при своихъ качаніяхъ взадъ и впередъ. Эта пру-

жинка, или такъ называемый волосокъ, прикрѣплена однимъ концомъ къ корпусу часовъ, а другимъ къ оси балансира, и въ хронометрахъ не представляетъ плоской спирали, какъ въ обыкновенныхъ карманныхъ часахъ, но есть спираль винтовая. При каждомъ размахѣ балансиръ пропускаетъ на одинъ зубецъ такъ называемое храповое колесо, движимое пружиною-двигателемъ; храповое колесо въ свою очередь при каждомъ размахѣ сообщаетъ толчокъ балансиру, чѣмъ поддерживаются его качанія.

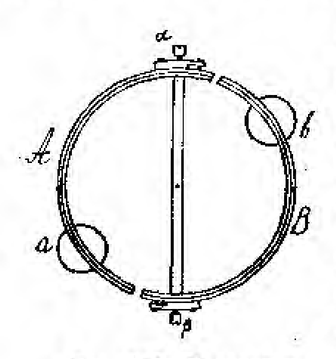
Французъ Леруа открылъ, а Филиппсъ,—англичанинъ,—доказалъ, что пружинка-волосокъ можетъ быть изохроничною, т. е. можно устроить такую спираль, что время размаха не будетъ зависѣть отъ его величины (амплитуды). Леруа открылъ, что для каждой спирали есть опредѣленная длина, при которой изохронизмъ имѣетъ мѣсто; Филиппсъ же доказалъ, что изохронизма можно достигнуть, придавая концамъ спирали извѣстную строго-математически опредѣленную форму.

Время качаній балансира чрезвычайно мѣняется отъ температуры. Это происходитъ потому, что при измѣненіяхъ температуры мѣняется коэффиціентъ упругости волоска. При повышеніи температуры упругость спирали ослабѣваетъ, хронометръ отстаетъ; при холодѣ наоборотъ—бѣжитъ впередъ. Эти измѣненія хода съ температурою въ хорошемъ хронометрѣ до того правильны, что *по ходу его можно опредѣлить температуру*. Компенсанція балансира необыкновенно трудна, тѣмъ не менѣе современные механики достигли и въ этомъ отношеніи удивительной точности.

Чтобы уяснить способъ дѣйствія компенсированнаго балансира, намъ слѣдуетъ сначала познакомиться съ значеніемъ одной механической величины — такъ называемаго *момента инерціи*. Пусть нѣкоторая точка съ массою M находится въ разстояніи r отъ нѣкоторой прямой и вращается вокругъ этой прямой, какъ вокругъ оси. Въ такомъ случаѣ величина Mr^2 называется моментомъ инерціи данной точки относительно данной оси. Если вокругъ оси вращается не одна точка, а цѣлое тѣло, состоящее изъ совокупности точекъ съ массами M_1, M_2, M_3 и т. д., при чемъ эти точки находятся отъ оси вращенія соотвѣтственно въ разстояніяхъ $r_1, r_2, r_3 \ldots$, то моментомъ инерціи всего тѣла относительно этой оси вращенія называется сумма $M_1r_1^2 + M_2r_2^2 + M_3r_3^2 + M_4r_4^2 + \ldots$, т. е. сумма произведеній, полученныхъ отъ помноженія массы каждой точки на квадратъ ея разстоянія отъ оси вращенія. Очевидно, моментъ инерціи тѣла увеличится, если мы увеличимъ разстояніе одной или

нѣсколькихъ точекъ отъ оси вращенія. Въ теоретической механикѣ доказывается, что *при дѣйствіи одной и той же силы тѣло будетъ вращаться тѣмъ медленнѣе, чѣмъ его моментъ инерціи больше.* Познакомивъ читателя съ этой теоремою, возвращаемся къ описанію хронометровъ.

Компенсированный балансиръ состоитъ изъ кольца, разрѣзаннаго на двѣ половинки A и B (фиг. 252). Къ этимъ дугамъ прикрѣплены шарики a и b близъ ихъ свободныхъ концовъ. Кромѣ того, имѣются еще винтики α и β съ тяжелыми головками. Ободокъ балансира спаянъ изъ двухъ колецъ разныхъ металловъ, при чемъ снаружи находится металлъ, коэффиціентъ расширенія котораго *больше.* Когда температура повышается, волосокъ слабнетъ и не въ состояніи уже своею уменьшенною упругостью сообщать балансиру качанія съ прежнею скоростью, то въ это время внѣшній металлъ ободка расширяется сильнѣе внутренняго, полукольца сгибаются внутрь, *шарика a и b приближаются къ оси вращенія балансира*, вмѣстѣ съ этимъ моментъ инерціи балансира уменьшается какъ разъ настолько, что волосокъ, хотя и менѣе упругій, въ состояніи однако сообщать облегченному балансиру качанія съ прежнею скоростью. Обратное происходитъ при пониженіи температуры.

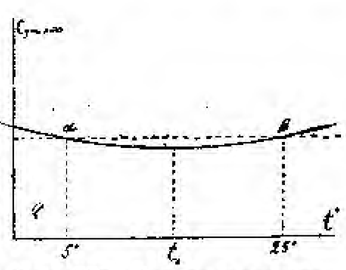


Фиг. 252. Балансиръ хронометра.

Винтики α и β служатъ для приведенія въ точное совпаденіе центра тяжести балансира съ осью вращенія, а также для измѣненія момента инерціи балансира при вывѣркѣ хронометра. Съ помощью этихъ винтиковъ можно, напримѣръ, изъ звѣзднаго хронометра сдѣлать средній солнечный и обратно. Способы приготовленія точно компенсированнаго хронометра весьма сложны. Въ настоящее время только 3 или 4 механика дѣлаютъ хорошіе хронометры. Ихъ-то мастерскія и снабжаютъ хронометрами обсерваторіи и флоты всего міра. О деликатности устройства описаннаго балансира можно судить изъ слѣдующаго: если, ковернувъ одинъ изъ винтиковъ α или β, переместить его только на 0,01 миллиметра, то хронометръ сейчасъ же останавливается вслѣдствіе несовпаденія центра тяжести балансира съ осью вращенія. Такая чувствительность превосходитъ всякое вѣроятіе.

Какъ ни остроумна и точна описанная компенсація, однако,

оказалось, что ее можно осуществить только для двухъ постоянныхъ температуръ. Только при этихъ двухъ температурахъ происходитъ полная компенсація; внутри же и внѣ промежутка, заключеннаго между этими температурами, ходъ хронометра съ температурою мѣняется, и происходитъ такъ называемая *секундальная ошибка*. Такими температурами обыкновенно бываютъ $+5^0$ и $+25^0$. Изслѣдованіе большого количества хронометровъ показало, что секундальная ошибка подчиняется слѣдующему эмпирическому закону: если на оси абсциссъ отложимъ температуры, а на оси ординатъ суточный ходъ въ секундахъ [16]), то кривая, выражающая измѣненія суточнаго хода съ температурою, будетъ парабола (фиг. 253), проходящая черезъ точки α и β, соотвѣтствующія основнымъ температурамъ 5^0 и 25^0. Эта парабола расположена симметрично относительно нѣкоторой средней температуры t_0. Алгебраически измѣненія хода можно представить формулой: $y = a_0 + c(t_0 - t)^2$, гдѣ y есть перемѣнный ходъ хронометра, a_0—ходъ при нулѣ градусовъ, c—коэффиціентъ постоянный для даннаго хронометра. Зная постоянныя a_0, c и t_0 для даннаго хронометра, по этой формулѣ можно найти y для всякой температуры t, можно составить таблицу хода для разныхъ температуръ, чтобы съ ея помощью вводить потомъ въ показанія хронометра соотвѣтствующія поправки.



Фиг. 253. Кривая суточнаго хода хронометра.

Для опредѣленія коэффиціентовъ a_0 c и t_0 въ большихъ портовыхъ городахъ, какъ, наприм., въ Гамбургѣ, существуютъ спеціальныя правительственныя обсерваторіи, гдѣ эти коэффиціенты опредѣляются съ величайшею тщательностью. Для этого хронометръ сначала помѣщается въ отдѣленіе въ родѣ погреба съ постоянною температурой 0^0, гдѣ онъ идетъ нѣсколько дней, затѣмъ его переносятъ въ комнаты, гдѣ поддерживаются постоянныя температуры въ 5^0, 10^0, 15^0 и т. д. Ходъ хронометра постоянно свѣряется съ ходомъ точныхъ часовъ съ маятникомъ, повѣреннымъ астрономическими наблюденіями. Такимъ образомъ опредѣляется секундальная ошибка, а затѣмъ и коэффиціенты. Въ хорошемъ хроно-

---

[16]) О значеніи терминовъ *абсцисса* и *ордината* см. „Очеркъ осн. понятій" I, 1, V, §§ 2, 3 и дальше.

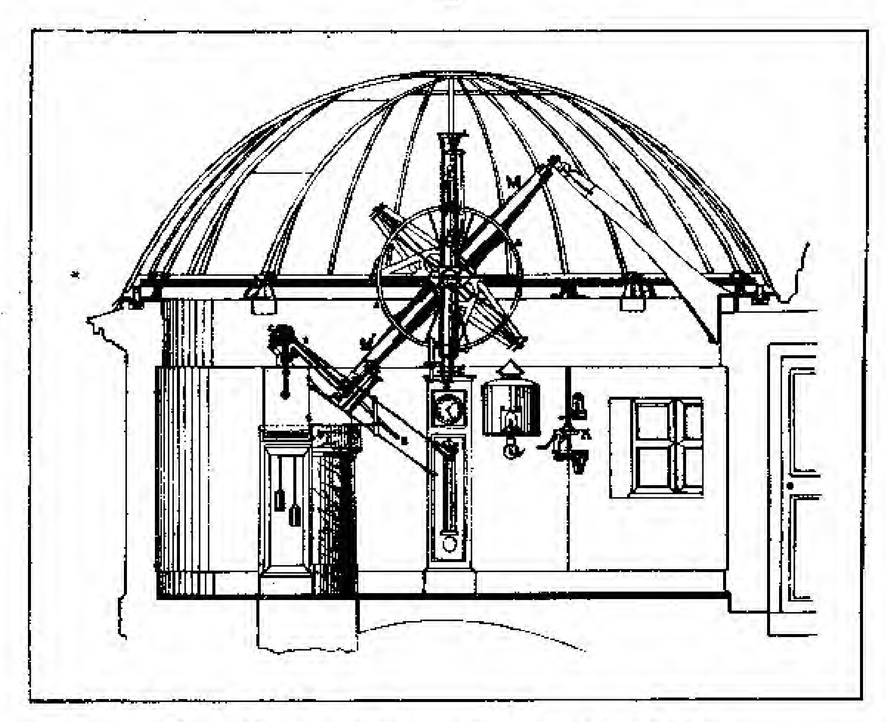
метрѣ кривая секундальной ошибки есть парабола, весьма мало отличающаяся отъ прямой линіи. Каждый корабль, приходящій въ портъ, обязанъ представить всѣ свои хронометры въ обсерваторію, откуда послѣ провѣрки каждому хронометру выдается аттестатъ, гдѣ и указаны коэффиціенты a_0, c, t_0. Такимъ образомъ, напримѣръ, въ Гамбургской морской обсерваторіи (Deutsche Seewarte) постоянно находятся на провѣркѣ сотни хронометровъ, которые разставлены въ залахъ рядами, каждый на отдѣльномъ каменномъ устоѣ.

Первые хорошіе хронометры сталъ дѣлать англійскій художникъ Гаррисонъ (John Harrison, 1693—1776; есть указанія, что онъ же первый построилъ и стержневой уравнительный маятникъ). Онъ сначала былъ столяромъ, а затѣмъ посвятилъ свою жизнь усовершенствованію этой маленькой машины. Послѣ 30 лѣтъ опытовъ и труда онъ имѣлъ наконецъ успѣхъ. Въ 1758 году онъ представилъ правительству измѣритель времени, который былъ испытанъ во время плаванія на Ямайку. Послѣ 161 дня пути, во время котораго корабль испытывалъ сильнѣйшія волненія и бури, ошибка хронометра составила только 1ᵐ5ˢ, и художникъ получилъ въ награду отъ своей страны 5 тысячъ фунт. стерл. (болѣе 40 тыс. руб.), изъ тѣхъ 20 тыс. фут., что были назначены въ видѣ преміи за изобрѣтеніе наилучшаго способа опредѣленія географическихъ долготъ на морѣ. Въ 1765 г. Гаррисонъ получилъ еще 15 тыс. ф. (болѣе 120 тыс. руб.) за еще лучшій хронометръ, построенный имъ уже на 73-мъ году своей жизни.

Въ Швейцаріи въ настоящее время существуетъ спеціальная коммиссія, состоящая изъ астрономовъ, инженеровъ и часовщиковъ. Они стремятся превратить кривую секундальной ошибки въ прямую линію. И дѣйствительно, дружными усиліями теоретиковъ и практиковъ, секундальная ошибка доведена въ современныхъ хронометрахъ до minimum'a.

Экваторіалъ. 26. Инструментъ, приспособленный, по идеѣ стариннаго французскаго художника Пассемана, для опредѣленія прямыхъ восхожденій и склоненій не въ меридіанѣ только, какъ это имѣетъ мѣсто при работѣ съ меридіаннымъ кругомъ, а въ какомъ угодно кругѣ склоненій, называется *экваторіаломъ*. Фиг. 254 представляетъ одну изъ первыхъ моделей етого инструмента—старый экваторіалъ Па-

рижской обсерваторіи работы Гамбея. Мы видимъ здѣсь ось MM', которая строго совпадаетъ съ осью міра, т. е. расположена въ плоскости меридіана и имѣетъ наклонъ къ горизонту, равный широтѣ обсерваторіи. Въ серединѣ этой оси и перпендикулярно къ ней находится другая ось вращенія N, вокругъ которой можетъ вращаться труба LL'. При вращеніи трубы вокругъ оси N, коллимаціонная линія описываетъ непремѣнно какой-нибудь изъ круговъ склоненій, и, слѣдовательно, на кругѣ AA, центръ котораго



Фиг. 254. Старый Парижскій экваторіалъ Гамбея.

совпадаетъ съ осью N, можно отсчитывать склоненія. Если, закрѣпивъ трубу на оси N въ какомъ-либо положеніи, вращать весь инструментъ вокругъ оси MM', то коллимаціонная линія трубы опишетъ, очевидно, поверхность круглаго конуса, геометрической осью котораго служитъ ось вращенія MM'. Но ось MM' совпадаетъ съ осью міра, поэтому сѣченіе этого конуса съ безконечно удаленною небесною сферой будетъ однимъ изъ параллельныхъ круговъ неба, и именно кругъ, соотвѣтствующій склоненію $\delta = 90° - \angle MNL$. Уголъ MNL можно мѣнять отъ 0° до 180°; слѣдова-

тельно, мы можемъ навести трубу на любую точку неба и, закрѣпивши ее въ найденномъ склоненіи, можемъ заставить описывать любую изъ небесныхъ параллелей. Ось вращенія NM и коллимаціонная линія трубы NL образуютъ здѣсь какъ бы громадный циркуль, одна ножка котораго неизмѣнно упирается въ полюсъ міра, другая описываетъ на небѣ кругъ, центромъ котораго служитъ полюсъ и котораго радіусъ тѣмъ больше, чѣмъ болѣе уголъ раствореніи нашего циркуля. При углѣ раствореніи въ 90°, т.-е. когда NL перпендикулярна къ NM, коллимаціонная линія описываетъ небесный экваторъ [17]); если $\angle LNM = 0°$, т.-е. $LL' // MM'$, то труба направлена все время въ полюсъ міра.

Углы поворота инструмента вокругъ оси MM' отсчитываются на раздѣленномъ кругѣ EE, который виденъ на фиг. 254 съ ребра. Нуль дѣленій этого круга соотвѣтствуетъ положенію этого инструмента, изображенному на фигурѣ. Въ этомъ случаѣ кругъ AA расположенъ въ плоскости меридіана и при вращеніи трубы вокругъ оси N, ся коллимаціонная линія описываетъ небесный меридіанъ. Наведя трубу на свѣтило, не находящееся въ меридіанѣ, и отсчитавъ по кругу EE отклоненіе инструмента отъ плоскости меридіана, мы имѣемъ часовой уголъ этого свѣтила, а замѣтивъ звѣздное время въ моментъ наблюденія, легко получаемъ прямое восхожденіе по формулѣ: $AR = \Theta - t$ (см. § 4).

Параллактическая установка. Часовой ходъ.

27. Такимъ образомъ, съ теоретической точки зрѣнія, экваторіалы очень удобны для опредѣленія координатъ: обѣ координаты— склоненіе и прямое восхожденіе — могутъ быть получены при любомъ положеніи свѣтила, лишь было бы оно только надъ горизонтомъ обсерваторіи; здѣсь нѣтъ надобности дожидаться кульминаціи свѣтила, что необходимо при опредѣленіяхъ меридіаннымъ кругомъ или пассажною трубою. Практика показала однако, что съ экваторіаломъ нельзя получить такихъ точныхъ результатовъ, какъ съ упомянутыми инструментами. Наклоненіе подъ острыми углами къ горизонту тяжелыхъ частей экваторіала, сложность условій, которымъ должна удовлетворять установка инструмента, и пр.—все это влечетъ за собою массу погрѣшностей, изъ которыхъ нѣкоторыя даже съ трудомъ поддаются анализу, и во всякомъ случаѣ изслѣдованіе и введеніе ихъ въ вычисленіе — трудъ крайне утомительный и не вознаграждаемый къ тому же точностью получаемыхъ резуль-

---

[17]) Въ такомъ положеніи находится труба на фиг. 70 статьи „Фотографія" (т. I, стр. 346).

татовъ. Поэтому въ настоящее время не употребляютъ экваторіаловъ для прямого опредѣленія координатъ. Но, несмотря на то, каждая, даже самая маленькая, обсерваторія обладаетъ по крайней мѣрѣ однимъ, а часто даже нѣсколькими экваторіалами. Это обыкновенно большія трубы-рефракторы, служащія для изученія физическаго строенія свѣтилъ [18]). Теперь не только громадные рефракторы обсерваторій, но въ большинствѣ случаевъ и малыя любительскія трубы снабжены описанной выше установкой и потому могутъ быть названы экваторіалами, хотя это названіе употребляется все рѣже, съ тѣхъ поръ, какъ этими инструментами перестали пользоваться для измѣренія экваторіальныхъ координатъ.

Экваторіальная или, какъ чаще ее называютъ, *параллактическая* установка получила такое широкое распространеніе вслѣдствіе удобствъ въ обращеніи съ трубою, снабженною этою установкой. Когда труба наведена на свѣтило и закрѣплена на оси N (фиг. 254) такъ, что $\angle LNM$ равенъ полярному разстоянію свѣтила, то достаточно давать съ помощью особой ручки инструменту лишь медленное вращеніе вокругъ оси MM', чтобы не выпустить наблюдаемый объектъ изъ поля зрѣнія трубы. Наконецъ, что всего важнѣе, параллактическая установка допускаетъ примѣненіе часового механизма для автоматическаго вращенія трубы. Каждое свѣтило описываетъ на небѣ въ звѣздныя сутки полный параллельный кругъ; часовой механизмъ (C на фиг. 254) такъ урегулированъ, что даетъ инструменту равномѣрное вращеніе вокругъ оси міра (MM') съ угловою скоростью, равною угловой скорости вращенія земли (т.-е. при непрерывномъ дѣйствіи механизма труба сдѣлаетъ полный оборотъ ровно въ 24 звѣздн. часа); такимъ образомъ труба, разъ наведенная на свѣтило, не выпускаетъ его съ центра поля зрѣнія во все время наблюденія, хотя бы оно длилось цѣлую ночь. Руки наблюдателя остаются свободными, вниманіе не развлекается необходимостью постоянно передвигать трубу; онъ можетъ вполнѣ сосредоточиться на наблюденіи, можетъ дѣлать нужные отсчеты и измѣренія, можетъ производить запись получаемыхъ результатовъ. Итакъ, параллактическая установка, снабженная часовымъ ходомъ, въ высшей степени *удобна* для на-

---

[18]) Мы не описываемъ оптическаго устройства астрономическихъ трубъ, полагая, что это извѣстно изъ курса начальной физики. Напоминаемъ, что *рефракторами* называются трубы, объективами которыхъ служатъ преломляющія стеклянныя линзы, у *рефлектора* же объективъ — отражающее вогнутое зеркало (см. „Объ оптич. инстр." I, 17).

блюденій, — она, кромѣ того, *необходима* для современныхъ большихъ трубъ и вотъ почему. Извѣстно, что чѣмъ больше увеличеніе какого-либо оптическаго инструмента, чѣмъ меньше его поле зрѣнія [19]). Такъ, громадные и сильно увеличивающіе современные рефракторы имѣютъ поле зрѣнія лишь въ 2′ — 1′, т.-е. наведенные, напримѣръ, на луну, захватываютъ едва $^1/_{15}$ — $^1/_{30}$ часть ея діаметра. При такомъ маломъ полѣ зрѣнія невозможно управлять трубою отъ руки. При малѣйшей оплошности наблюдателя быстро бѣгущее изображеніе свѣтила ускользаетъ изъ поля зрѣнія, а вновь искать объектъ — вещь весьма хлопотная, опять вслѣдствіе той же малости поля зрѣнія, особенно, если, какъ это часто бываетъ, свѣтило невидимо простому глазу. Поле зрѣнія въ 1 — 2 минуты дуги свѣтило пробѣгаетъ лишь въ 4 — 8 секундъ времени; ловить его, управляя отъ руки трубою въ 5 — 7 саж. длины, невозможно; необходимость часового хода очевидна.

Часовой механизмъ приводится въ дѣйствіе обыкновенно гирею, равномѣрное опусканіе которой достигается съ помощью маятника. Но обыкновенный качающійся маятникъ здѣсь не можетъ быть примѣненъ. Онъ двигалъ бы трубу скачками. Такъ, напримѣръ, при секундномъ маятникѣ, труба съ каждымъ его ударомъ быстро перескакивала бы на 15″ дуги небесной параллели, свѣтило прыгало бы въ полѣ зрѣнія и наблюденіе было бы невозможнымъ. Поэтому употребляютъ такъ называемый *коническій маятникъ*, который равномѣрно вращается, придавая трубѣ плавное движеніе. Въ большинствѣ инструментовъ эти маятники имѣютъ форму тѣхъ „центробѣжныхъ регуляторовъ“, что примѣняются для регулированія хода паровыхъ машинъ.

Современные параллактическіе штативы нѣсколько отличаются отъ изображеннаго на фиг. 254. Именно, верхній и нижній концы часовой оси (т.-е. оси MM' на фиг. 254) не укрѣплены въ особыхъ подставкахъ, неизмѣнно соединенныхъ со стѣнами башни, какъ это устроено въ экваторіалѣ Гамбея, но обѣ оси вращенія (часовая и ось склоненій) укрѣплены на особой колоннѣ, такъ что при малой и легкой трубѣ инструментъ можетъ быть даже переноснымъ [20]).

Чтобы можно было навести трубу на любую точку неба, ре-

---

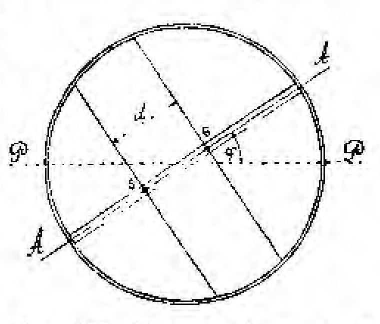
19) См. „Объ оптич. инстр.“ I, 17, § 3 и далѣе

20) См. параллактическую установку на фиг. 70, т. I стр. 346; здѣсь часовой ходъ, помѣщенный внутри пьедестала, приводится въ движеніе пружиной заводимою ключемъ.

фракторы устанавливаются обыкновенно въ башняхъ съ вращающимися куполами. Такой куполъ имѣетъ закрываемый дверками вертикальный люкъ (фиг. 254 и 257), который, вращеніемъ купола съ помощью особаго механизма *(K)*, можетъ быть установленъ въ плоскости какого угодно вертикальнаго круга.

28. Экваторіалы, какъ было уже упомянуто, не служатъ для опредѣленія абсолютныхъ координатъ. И хотя каждый параллактическій штативъ имѣетъ раздѣленные круги (часовой *EE* и кругъ склоненій *AA*, фиг. 254), но они служатъ лишь кругами-искателями (пользоваться ими необходимо, когда объектъ невидимъ простому глазу). Однако, съ помощью любой трубы весьма удобно измѣрять координаты относительныя, т. е. положеніе одного свѣтила относительно другого, близкаго къ первому и одновременно видимаго въ полѣ зрѣнія. Если координаты свѣтила, принятаго за основное, извѣстны, то небольшимъ вычисленіемъ легко опредѣляются и искомыя абсолютныя координаты второго свѣтила. Для измѣренія относительныхъ положеній свѣтилъ служитъ микрометръ, расположенный въ фокусной плоскости объектива трубы. Этотъ небольшой измѣрительный инструментъ составляетъ, такимъ образомъ, необходимую принадлежность всякой трубы, предназначенной для серьезныхъ научныхъ работъ. Изъ различныхъ микрометровъ, предложенныхъ въ разное время, вошелъ во всеобщее употребленіе микрометръ нитяный. Отличіе употребляемаго здѣсь нитянаго микрометра отъ описаннаго раньше (§ 12) состоитъ только въ томъ, что весь приборъ можетъ вращаться въ плоскости, перпендикулярной къ оптической оси трубы. Для измѣренія угловъ поворота существуетъ особый раздѣленный кругъ, называемый кругомъ положеній или *позиціоннымъ*. При работѣ нитянымъ микрометромъ, его повертываютъ такъ, чтобы поперечныя нити были параллельны прямой *AA* (фиг. 255), соединяющей оба наблюдаемыя свѣтила s и σ, затѣмъ приводятъ неподвижную нить въ соприкосновеніе съ основнымъ свѣтиломъ s, а подвижную — въ соприкосновеніе съ свѣтиломъ σ, координаты котораго неизвѣстны; отсчитываютъ затѣмъ съ помощью микрометрическаго винта разстояніе $s\sigma = d$, а на позиціонномъ кругѣ уголъ φ наклоненія

Позиціонный микрометръ.



Фиг. 255. Поле зрѣнія позиціоннаго микрометра.

прямой AA къ небесной параллели PP. Этихъ данныхъ достаточно для опредѣленія координатъ σ, когда координаты s извѣстны. Кромѣ опредѣленія координатъ, нитяный микрометръ служитъ еще для измѣреній угловыхъ діаметровъ дисковъ планетъ (тогда обѣ нити дѣлаютъ касательными къ краямъ диска), сплюснутости планетъ, положеній спутниковъ планеты относительно ея центра, для изученія солнечныхъ пятенъ, для работъ по топографіи Луны, Марса и пр.

Историческія замѣчанія о зрительныхъ трубахъ.

29. Зрительная труба была изобрѣтена въ Голландіи около 1608 г. Имя изобрѣтателя съ достовѣрностью неизвѣстно. Честь этого изобрѣтенія почти съ равнымъ правомъ можетъ быть приписана тремъ лицамъ: Гансу Липперсгейну (Hans Lippersheim или Jan Lapprey), Якову Мецiусу (Metius) — мастерамъ очковъ въ Миддльбургѣ, и Захарію Янсену (Jansen), шлифовщику стеколъ въ Алькмарѣ. Изобрѣтеніе было, кажется, совершенно случайнымъ. Въ 1609 г. узналъ о возможности устройства оптическаго инструмента, увеличивающаго и приближающаго отдаленные предметы, — знаменитый Галилей. Получивши это извѣстіе, Галилей, по его собственнымъ словамъ, въ одну ночь нашелъ требуемую комбинацію стеколъ и, такъ сказать, вновь изобрѣлъ зрительную трубу, независимо отъ другихъ. Однако, есть основанія думать, что Галилею извѣстны были не только общая идея, но даже и подробности устройства голландской трубы. Во всякомъ случаѣ, несомнѣнно, что Галилей первый опубликовалъ во всеобщее свѣдѣніе описаніе новаго инструмента, первый сталъ приготовлять удовлетворительныя зрительныя трубки, наконецъ, первый навелъ трубу на небо и открылъ (1609—1610 гг.) лунныя горы, фазы Венеры, спутниковъ Юпитера, звѣздное строеніе млечнаго пути, неправильность формы Сатурна (кольца планеты открыты впослѣдствіи Гюйгенсомъ, 1659 г.), и одинъ изъ первыхъ наблюдалъ солнечныя пятна [21]).

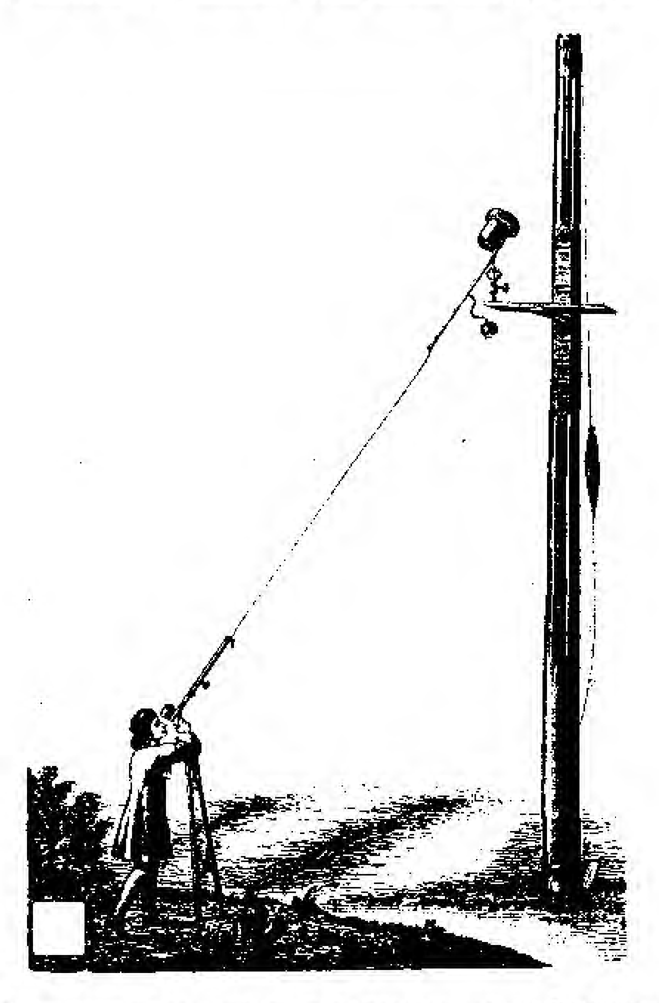
Трубки Галилея имѣли окуляромъ разсѣевающую линзу (обыкновенный бинокль есть соединеніе двухъ Галилеевыхъ трубокъ). Инструменты этой системы въ настоящее время не употребляются въ астрономіи. „Астрономическую“ же трубу съ двояковыпуклымъ окуляромъ изобрѣлъ великій Кеплеръ (1611 г.) [22]). Впослѣдствіи Гюйгенсъ и потомъ Рамсденъ усовершенствовали астрономическую трубу, составивъ окуляторъ изъ двухъ плосковыпуклыхъ стеколъ. Тѣмъ не менѣе, пока объективы были неахроматическіе, трубы

---

[21]) См. біографію Галилея, т. II, стр. 359.

[22]) См. біографію Кеплера, т. II, стр. 348.

были весьма несовершенны. Онѣ давали туманныя и неотчетливыя изображенія. Чтобы по возможности уничтожить хроматическую и сферическую аберраціи, приходилось трубамъ давать необыкновенную длину: большія трубы XVII в. были иногда до 20 саж. длиною. Обращаться съ такими неуклюжими инструментами было въ

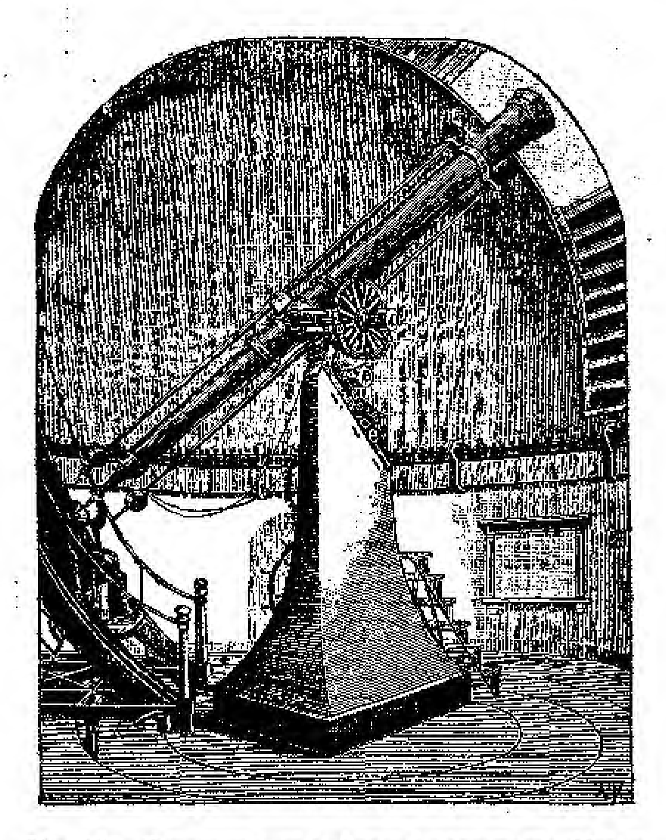


Фиг. 256. Такъ называемая „воздушная зрительная труба“ Гюйгенса (1680 г.).

высшей степени неудобно, и потому нѣкоторые наблюдатели перестали даже вставлять стекла въ трубу, а укрѣпляли объективъ на вершинѣ высокой мачты и наблюдали, держа окуляръ просто въ рукѣ (фиг. 256).

Наконецъ, лондонскій оптикъ Джонъ Доллондъ (Dollond) изо-

брѣлъ (1758 г.) ахроматическій объективъ, и тогда явилась возможность давать трубѣ длину, лишь въ 12—18 разъ превышающую діаметръ объектива. Мы едва ли ошибемся, если скажемъ, что въ настоящее время малая любительская труба съ объективомъ въ 4 — 6 дюйм. и длиною 5 — 7 фут. даетъ больше, чѣмъ длинные рефракторы XVII-го и первой половины XVIII-го вѣка.



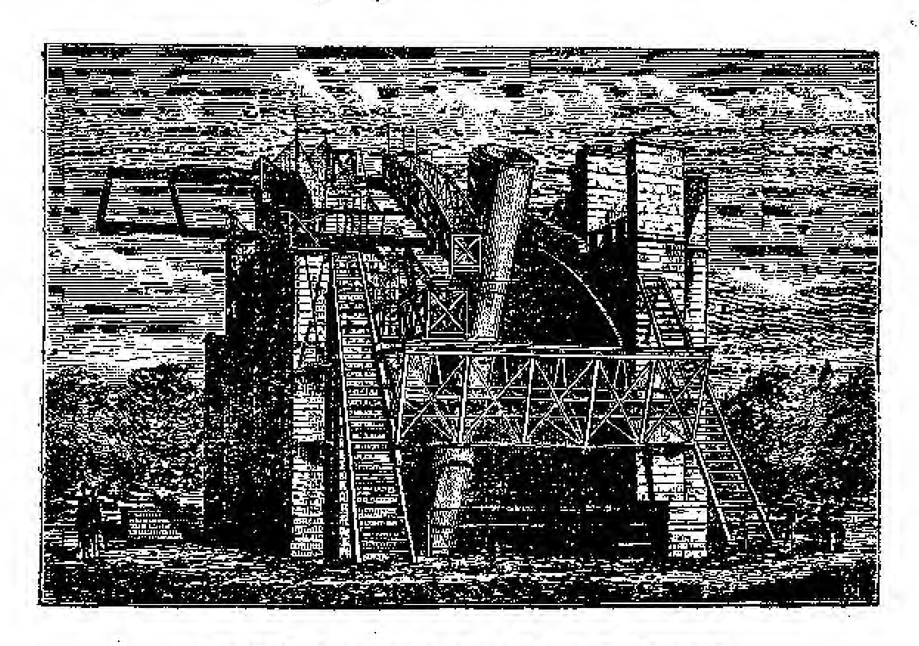
Фиг. 257. Пулковскій 15-дюймовый рефракторъ Мерца.

Техника построенія большихъ рефракторовъ дѣлаетъ особенно быстрые успѣхи въ наше время. Въ первой половинѣ XIX столѣтія первымъ въ мірѣ былъ Дерптскій рефракторъ работы Фраунгофера въ Мюнхенѣ (построенъ въ 1824 г.), имѣвшій объективъ въ $24^1/_2{}^{cm}$ ($9^3/_4$ д.) діаметромъ; Пулковскій рефракторъ съ объективомъ въ 38^{cm} (15 д.), построенный (1840 г.) преемникомъ Фраунгофера Мерцомъ, считался въ свое время чудомъ искусства (фиг. 257). Объективъ величайшаго изъ современныхъ рефракто-

ровъ (обсерваторія Yerkes'а близъ Чикаго) имѣетъ уже 101^{cm} (40 д.) въ поперечникѣ. Вторая по величинѣ труба находится въ обсерваторіи Лика (Lick) въ Калифорніи и имѣетъ объективъ (раб. Кларка) въ $91^1/_2{}^{cm}$ (36 д.). Наконецъ, третье мѣсто въ свѣтѣ и первое въ Европѣ занимаетъ большой Пулковскій рефракторъ (объективъ 76^{cm}=30 д., длина трубы 45 ф.), къ описанію котораго мы и перейдемъ [23]).

Пулковскій 30-дюймовый рефракторъ.

30. Въ указѣ объ основаніи Пулковской обсерваторіи (данъ 28 окт. 1833 г.) Императоромъ Николаемъ I было выражено же-



Фиг. 258. Рефлекторъ лорда Росса въ Ирландіи.

ланіе, чтобы обсерваторія была снабжена совершеннѣйшими инструментами. И дѣйствительно, ни въ одной изъ обсерваторій не было столь совершенныхъ инструментовъ, какъ тѣ, которыми обладала Пулковская въ первые годы по ея открытіи. Но съ теченіемъ времени, по мѣрѣ развитія техники построенія инструментовъ, нѣкоторые Пулковскіе инструменты стали уступать инструментамъ обсерваторій другихъ странъ. Быстрѣе всего развивалось искусство шлифовки большихъ объективовъ, и потому Мерцовскій

---

23) Рефракторъ одинаковыхъ размѣровъ съ Пулковскимъ находится также въ Ниццѣ (приготовленъ парижскими художниками Henry).

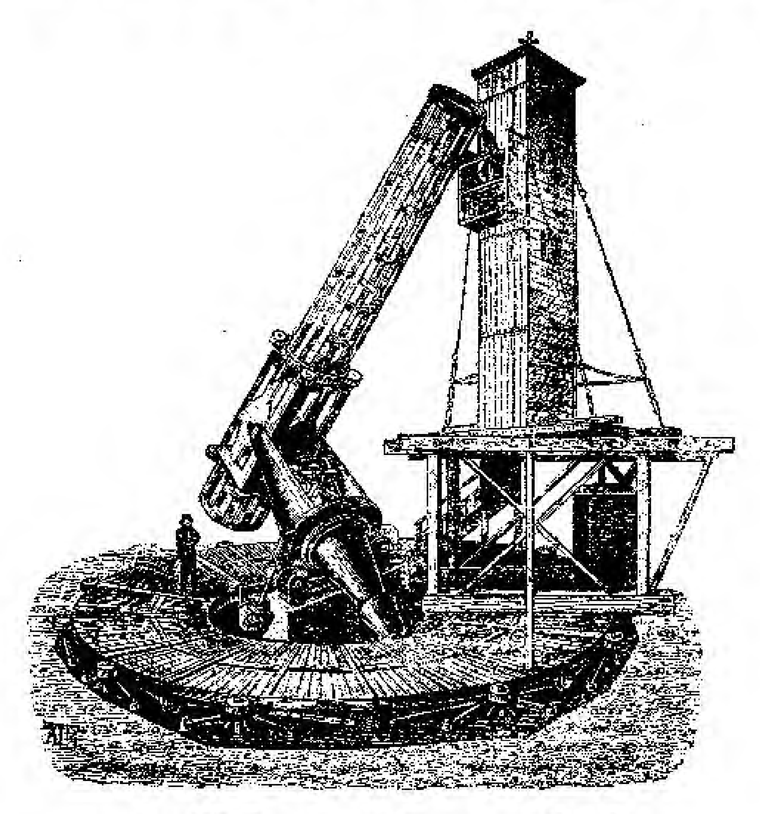
15-дюймовый рефракторъ, въ теченіе 30 лѣтъ бывшій первымъ въ свѣтѣ, долженъ былъ, наконецъ, уступить первенство превосходнымъ инструментамъ, которыми обзавелись другія обсерваторіи. Тогда, по ходатайству Пулковскихъ астрономовъ, правительствомъ была отпущена сумма въ 250 тыс. руб. на построеніе новой трубы; впослѣдствіи было добавлено еще 50 т. руб.

Чтобы рѣшить вопросъ, какихъ размѣровъ и какого рода труба должна быть пріобрѣтена для Пулкова, директоръ обсерваторіи Отто Струве (сынъ основателя и перваго директора В. Струве) нѣсколько разъ путешествовалъ для осмотра инструментовъ другихъ обсерваторій. Въ срединѣ нашего столѣтія особенно славился 6-футовый рефлекторъ лорда Росса, установленный въ его имѣніи Бирръ-Кастль въ Ирландіи (фиг. 258; это величайшій изъ всѣхъ когда-либо существовавшихъ телескоповъ). Однако двухкратное 1844 и 1850 гг.) пребываніе О. Струве въ замкѣ гостепріимнаго владѣльца убѣдило его, что этотъ гигантъ немногимъ превосходитъ Пулковскую трубу. Правда, 6-футовое зеркало давало необычайную силу свѣта, но отчетливость заставляла желать многаго. При нѣкоторыхъ положеніяхъ трубы зеркало коробилось отъ своей собственной тяжести, и изображенія искажались. Кромѣ того, обращеніе съ громоздкою 35-футовою трубою, подвѣшенною на цѣпяхъ, было крайне неудобно. Свободнымъ отъ этихъ недостатковъ оказался 4-футовый рефлекторъ Ласселя (Lassel) на о-вѣ Мальтѣ, установленный параллактически (фиг. 259). О. Струве призналъ его достойнымъ соперникомъ Пулковскаго рефрактора, но все же не могъ назвать лучшимъ, несмотря на прекрасное небо Мальты.

Между тѣмъ, около 50-хъ годовъ началъ шлифовать большія линзы знаменитый художникъ Альванъ Кларкъ (Alvan Clark) въ Кембриджпортѣ, въ Америкѣ, и въ 1873 году въ Вашингтонской обсерваторіи былъ установленъ прекрасный рефракторъ, длиною въ $33\frac{1}{2}$ фут., съ объективомъ Кларка въ 26 д. (66^{cm}), далеко оставившій за собою царившіе до того времени трубы-рефлекторы. Чрезвычайная отчетливость изображеній, рисуемыхъ объективомъ этого инструмента, была доказана открытіемъ двухъ спутниковъ Марса Асафомъ Галлемъ (A. Hall) въ августѣ 1877 г.

Тогда стало ясно, что для Пулкова должно было пріобрѣсти не отражательный телескопъ, а рефракторъ, и при томъ—размѣрами по меньшей мѣрѣ равный вашингтонскому. Сначала думали заказать объективъ фирмѣ Мерца, съ которою Пулково уже съ самаго основанія обсерваторіи имѣло постоянныя сношенія. Но

проектъ контракта, представленный главою фирмы Сигмундомъ Мердомъ, не удовлетворилъ пулковскихъ астрономовъ, такъ какъ всѣ убытки, въ случаѣ неудачи предпріятія, цѣликомъ ложились по этому контракту на обсерваторію. Между тѣмъ американскіе астрономы приглашали О. Струве пріѣхать осмотрѣть вашингтонскій инструментъ и совѣтовали поручить шлифовку объектива фирмѣ Кларкъ (Alvan Clark & Sons). Тогда О. Струве и сынъ его



Фиг. 259. Рефлекторъ Ласселя на о. Мальтѣ.

Германъ выѣхали въ Америку (1879 г.). Тщательное изученіе вашингтонскаго рефрактора разсѣяло всѣ сомнѣнія, и контрактъ съ Кларкомъ былъ заключенъ. Діаметръ объектива обусловленъ въ 30 д.; флинтгласъ для него предположено взять у Фейля въ Парижѣ, кронгласъ — у Шансъ въ Бирмингамѣ; цѣна объектива назначена 32 тыс. долларовъ (64 т. руб.); кромѣ того, обсерваторія должна уплатить 1000 долл. за временную трубу и штативъ, которые обязанъ устроить Кларкъ для испытанія объектива при

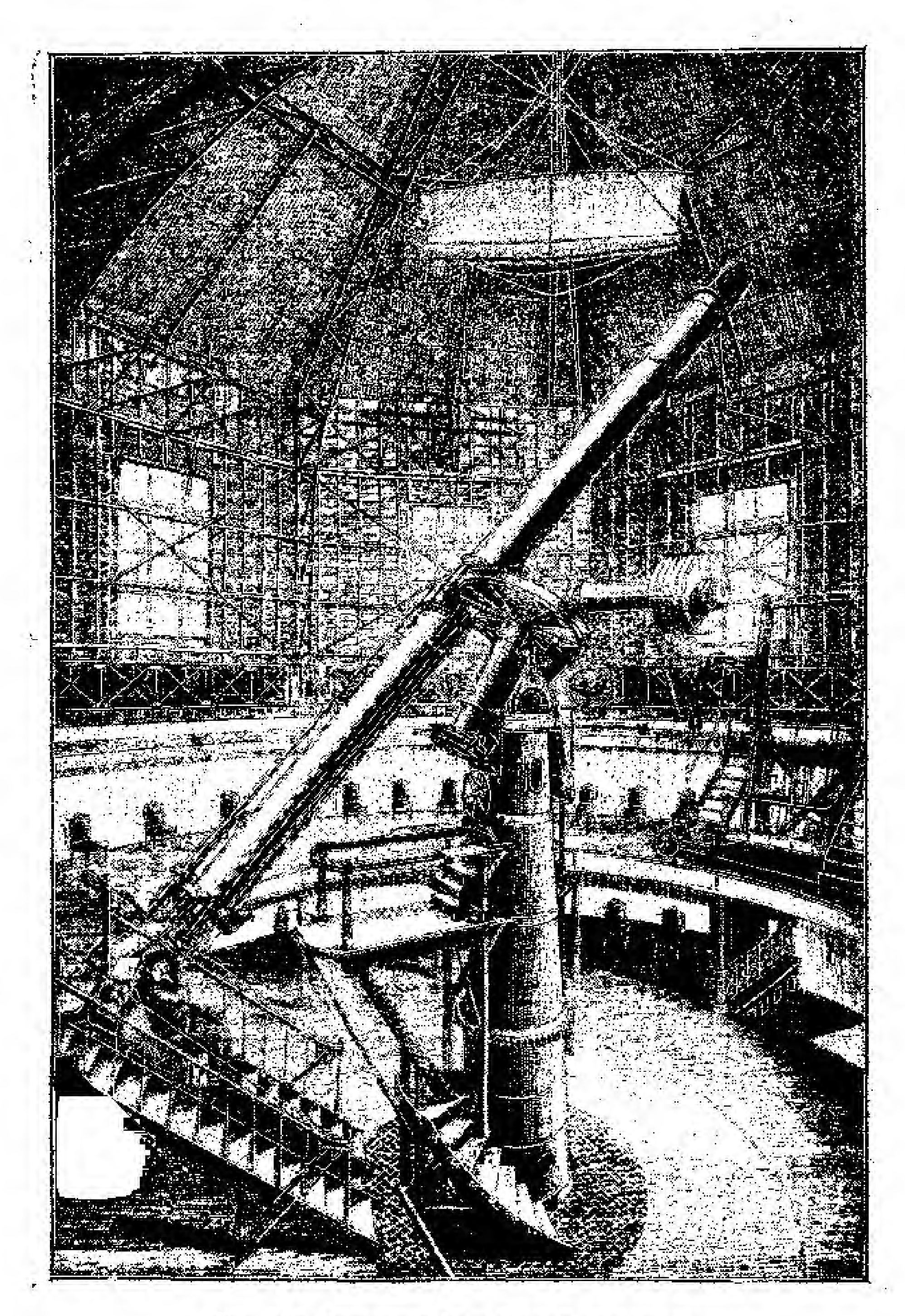
его пріемкѣ. Сейчасъ же по заключеніи контракта Альв. Кларкъ младшій выѣхалъ въ Европу за стеклами.

Шлифовка не обошлась безъ неудачъ. Кронгласъ Шанса во время обработки лопнулъ. Отлить новую кронгласовую массу поручено было тому же Фейлю въ Парижѣ, у котораго пріобрѣтенъ и флинтгласъ. Это значительно задержало шлифовку, такъ какъ кронъ отъ Фейля полученъ въ Кембриджпортѣ лишь во второй половинѣ 1881 г. Другая задержка произошла потому, что возбудилась переписка относительно фокуснаго разстоянія объектива. По контракту оно обусловлено въ 40 фут., между тѣмъ г-да Кларкъ просили разрѣшенія увеличить его до 45 ф., такъ какъ въ противномъ случаѣ флинтгласовая линза вышла бы слишкомъ тонкою у краевъ и могла подвергаться вредному гнутію отъ собственной тяжести. По тщательномъ обсужденіи вопроса пулковскими астрономами, требуемое разрѣшеніе было дано. И вотъ, 1 января 1883 г. получена отъ художниковъ телеграмма, что объективъ готовъ, испытанъ и оказался превосходнымъ. Въ мартѣ О. и Г. Струве опять выѣхали въ Америку. Сначала они побывали въ Вашингтонѣ, чтобы вновь взглянуть въ 26-дюймовый рефракторъ — для освѣженія впечатлѣній. Затѣмъ новый объективъ ими былъ всесторонне испытанъ при участіи американскихъ астрономовъ (Ньюкомба, Пикеринга и др.). Отчетливостью изображеній онъ оказался по крайней мѣрѣ равенъ вашингтонскому, а силою свѣта, конечно, превосходилъ его. Наблюдать за упаковкою объектива любезно согласились американскіе астрономы, сопровождалъ его вплоть до Пулкова главный помощникъ г-дъ Кларкъ. $\frac{12}{27}$ іюня объективъ благополучно прибылъ въ Кронштадтъ, затѣмъ моремъ доставленъ въ Петергофъ, а оттуда на лошадяхъ, шагомъ, по мягкимъ дорогамъ перевезенъ въ Пулково.

Корпусъ трубы и параллактическій штативъ были уже раньше заказаны фирмѣ Репсольдъ, какъ не имѣющей себѣ соперниковъ въ этомъ дѣлѣ. Всѣ детали установки прибыли въ Пулково въ 1884 г. Пріѣхалъ самъ Іоганнъ Репсольдъ для наблюденія надъ сборкою частей, которая и произведена сравнительно быстро,— лишь въ 3 недѣли. $\frac{14}{26}$ октября 1884 года драгоцѣнный объективъ былъ вставленъ въ трубу. Съ этого момента къ длинному перечню современныхъ чудесъ свѣта должно было присоединить еще одно— пулковскій 30-дюймовый рефракторъ.

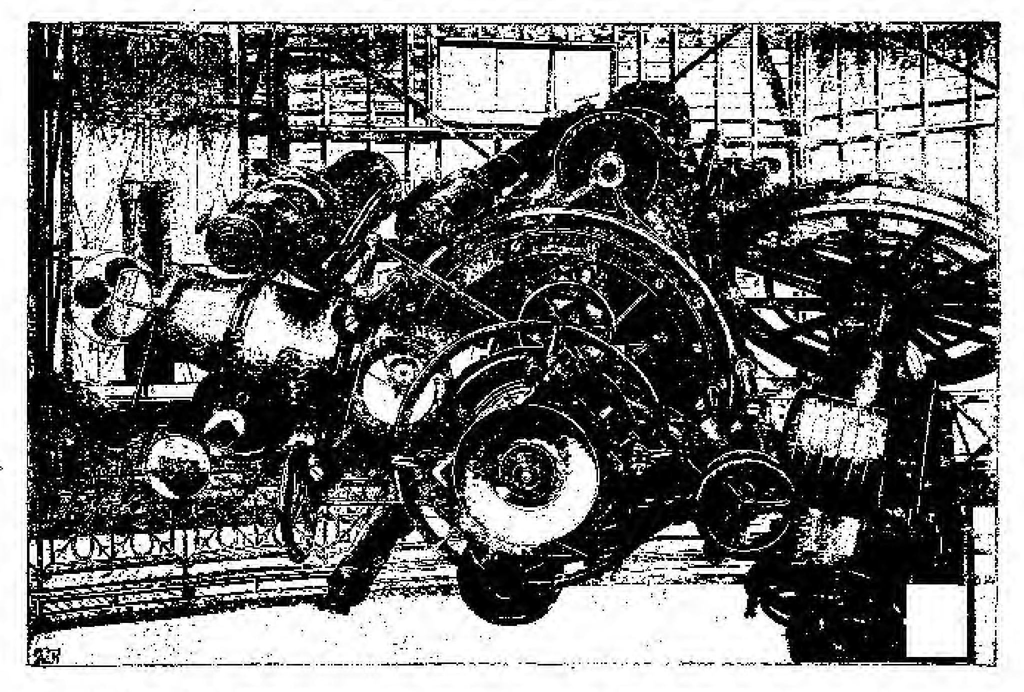
Фиг. 260 даетъ общій видъ этого инструмента. На массивномъ фундаментѣ, глубоко врытомъ въ землю, утверждена высокая чугунная колонна, на верхнемъ концѣ которой расположены обѣ оси вращенія (изъ крупповской литой стали) съ раздѣленными кругами. Труба склепана изъ стальныхъ листовъ. Въ верхней ея части 6-ю винтами удерживается объективъ Кларка. Другіе 3 винта служатъ для легкихъ перемѣщеній объектива въ различныхъ направленіяхъ, чтобы можно было оптическую ось объектива привести въ строгое совпаденіе съ геометрическою осью трубы. Самый объективъ представляетъ тяжелую (195 kgr. — болѣе 12 пуд.) чугунную оправу, въ которой, при помощи серебряныхъ обручей и каучуковаго кольца, закрѣплены обѣ линзы въ разстояніи 137^{mm} (приблизит. $^1/_2$ фут.) одна отъ другой. Кронгласовая двояко-выпуклая линза имѣетъ въ центрѣ толщину 42^{mm} и вѣситъ $34^1/_2$ kgr. (болѣе 2 пуд.); толщина флинтгласовой двояко-вогнутой линзы — 26^{mm} и вѣсъ $61^1/_2$ kgr. (почти 4 пуда). Точнѣйшимъ образомъ измѣренное фокусное разстояніе объектива оказалось равнымъ $14120^{mm},5$ для температуры $16^2/_3{}^0$ C.; найдено, что при измѣненіи температуры на 1^0 C. оно мѣняется на *0,0000315 свою часть* (т. е. почти на $^1/_2{}^{mm}$). Оправа имѣетъ по окружности 6 закрываемыхъ клапанами отверстій, при помощи которыхъ, не развинчивая объектива, можно чистить поверхности линзъ, обращенныя во внутренній $^1/_2$-футовый промежутокъ между ними. Два отверстія въ самомъ корпусѣ трубы допускаютъ чистку поверхности объектива, обращенной внутрь трубы, а въ связи съ другими двумя отверстіями въ нижней части трубы— они служатъ для ея вентилированія.

Особенно сложно устройство окулярнаго конца инструмента. Онъ изображенъ у насъ отдѣльно на фиг. 261. Здѣсь, подъ руками у наблюдателя, находятся стержни и винты какъ для грубыхъ, такъ и для нѣжныхъ, микрометрическихъ передвиженій всей трубы, для управленія часовымъ ходомъ, для передвиженія сѣтки микрометра, для вращенія его позиціоннаго круга и пр. Кромѣ того, тутъ размѣщены: микроскопы для отсчитыванія дѣленій позиціоннаго круга, длинныя колѣнчатыя трубки для отсчетовъ на кругѣ склоненій и часовомъ, спектроскопъ, труба-искатель, электрическія кнопки для отмѣтокъ на хронографѣ, циферблатъ (работы Hipp'а), стрѣлка котораго отбиваетъ звѣздныя секунды и приводится въ дѣйствіе электрически отъ часовъ съ маятникомъ (часы и хронографъ находятся въ нижнемъ ярусѣ башни), и пр. Влѣво отъ главнаго окуляра подвѣшена закрытая со всѣхъ сторонъ



Фиг. 260. Пулковскій 30-дюймовый рефракторъ.

лампа; пучекъ свѣта этой лампы, претерпѣвая многочисленныя преломленія въ остроумно расположенныхъ чечевицахъ и призмахъ и отражаясь отъ зеркалъ, раздѣляется на нѣсколько мелкихъ пучковъ, которые освѣщаютъ: нити микрометра внутри трубы, барабаны его микрометрическихъ винтовъ, дѣленія позиціоннаго круга, дѣленія часового круга и круга склоненій, вышеупомянутый секундный циферблатъ и пр.



Фиг. 261. Окулярная часть трубы большого Пулковскаго рефрактора.

При рефракторѣ имѣются 5 окуляровъ Кларка и 7 окуляровъ Мерца, при помощи которыхъ можно достигать послѣдовательныхъ увеличеній отъ 150 до 1550 разъ; соотвѣтственно увеличеніямъ поле зрѣнія колеблется отъ 15′ до 1′ [24]). Однако вѣчно туманное небо Балтійскаго побережья рѣдко позволяетъ примѣнять сильныя увеличенія въ 1200 — 1550 разъ; чаще всего работаютъ съ окулярами средней силы, дающими увеличенія отъ 355 до 850 разъ (поле зрѣнія 6′—2′). Выше упомянуто, что при главной трубѣ

[24]) Объ увеличеніяхъ Пулковскаго рефрактора, а также объ увеличеніи вообще и о полѣ зрѣнія трубъ см. „Объ оптич. инстр." I, 17, 2, 3, 4.

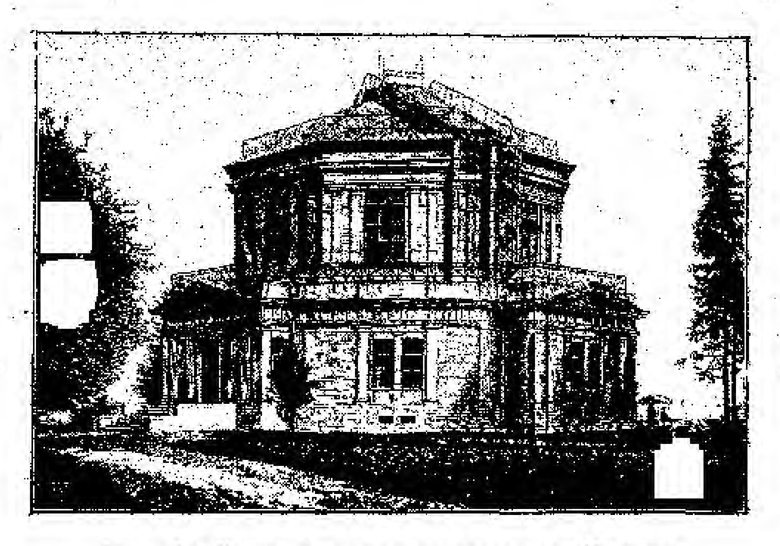
имѣется искатель. Такъ называется небольшая труба съ слабымъ увеличеніемъ, но обширнымъ полемъ зрѣнія, захватывающимъ большой кусокъ неба, что облегчаетъ наведеніе инструмента на желаемый объектъ. Искатель строго параллеленъ главной трубѣ, и потому объектъ одновременно виденъ въ центрахъ поля зрѣнія обѣихъ трубъ. Эти вспомогательныя трубки имѣются уже у инструментовъ съ объективами въ 4 — 6 дюйм. (см. также фиг. 254 и фиг. 70, т. I). Искатель пулковской трубы (пріобрѣтенъ у Мерца) имѣетъ объективъ въ 161^{mm} ($6^1/_2$ дюйм.), фокусное разстояніе 1,3 метр. ($4^1/_3$ фут.), увеличенія въ 16 и 34 раза и поле зрѣнія соотвѣтственно 3°10′ и 1°30′.

Часовой ходъ, придающій трубѣ во время наблюденій суточное вращеніе, помѣщается не внутри колонны, какъ это въ большинствѣ случаевъ дѣлается, а далеко отъ рефрактора, у стѣны башни. Движеніе часового механизма передается трубѣ при помощи трехъ длинныхъ стержней, изъ которыхъ одинъ опускается отъ механизма вертикально внизъ — въ подвалъ башни, другой проходитъ горизонтально въ подвалѣ до центра башни, наконецъ, третій поднимается изъ подвала вверхъ, пронизывая чугунную колонну рефрактора, и сцѣпляется на своемъ верхнемъ концѣ съ зубчатымъ колесомъ, насаженнымъ на часовую ось. Часовой ходъ приводится въ дѣйствіе гирями, которыхъ подвѣшиваютъ отъ 10 (лѣтомъ) до 26 (въ холодную погоду), — вѣсомъ каждая 22 kgr. (55 фунт.). Опредѣлено, что большая часть силы тратится на сопротивленія въ самомъ часовомъ механизмѣ и передаточныхъ частяхъ, на вращеніе же собственно трубы изъ полнаго количества груза идетъ лишь 44 kgr. (менѣе 3 пуд.). Это свидѣтельствуетъ о точности отдѣлки всѣхъ трущихся частей и о прекрасномъ уравновѣшеніи трубы, что предоставляетъ нелегкую задачу при построеніи столь большихъ и сложныхъ инструментовъ. На фиг. 260 и 261 можно видѣть нѣсколько противовѣсовъ, въ видѣ цилиндрическихъ гирь, при помощи которыхъ достигается взаимное уравновѣшиваніе тяжестей и совпаденіе общаго центра тяжести съ часовою осью вращенія.

Никакое описаніе не можетъ дать полнаго понятія о всемъ совершенствѣ установки пулковскаго рефрактора, выполненной Репсольдами. Даже крайне требовательными спеціалистами-астрономами признано, что она „выше всякой похвалы".

Наблюденія совершаютъ, сидя въ удобно устроенныхъ креслахъ, которыя могутъ быть передвигаемы вокругъ колонны по рельсамъ, могутъ подниматься и опускаться, спинка кресла можетъ прини-

мать разный наклонъ къ горизонту, такъ какъ при нѣкоторыхъ положеніяхъ инструмента приходится работать полулежа. Такихъ кроселъ — два, какъ видно на фиг. 260, — одно въ верхнемъ ярусѣ башни, другое внизу. Всѣ передвиженія можетъ производить самъ наблюдатель, потягивая за особые шнурки, расположенные у него подъ руками. Ассистентъ во время наблюденій помѣщается на центральной площадкѣ близъ раздѣленныхъ круговъ. Онъ помогаетъ наблюдателю при передвиженіяхъ инструмента и записываетъ наблюденія. Наконецъ, при наблюденіяхъ всегда присутствуетъ служитель, который открываетъ и закрываетъ люки, приводитъ во вращеніе башню и проч.



Фиг. 262. Башня большого рефрактора въ Пулковѣ.

Башня, въ которой помѣщается рефракторъ (фиг. 262), построена нынѣ умершимъ инженеромъ Паукеромъ (впослѣдствіи — министръ путей сообщенія). Высота ея надъ почвою — 71½ фут.; діаметръ вращающейся 8-угольной части — 61 фут.; крыша и самыя стѣны этой послѣдней имѣютъ сквозной разрѣзъ шириною около 8 фут., закрываемый дверками и задвижками. Вращеніе производится электрическимъ путемъ: динамо-машиною заряжаютъ время отъ времени аккумуляторы (41 шт.), которые даютъ токъ къ электродвигателю, помѣщенному въ самой башнѣ (динамо и аккумуляторы находятся далеко отъ башни рефрактора — въ зданіи астро-физической лабораторіи). Такимъ образомъ, вся верхняя часть

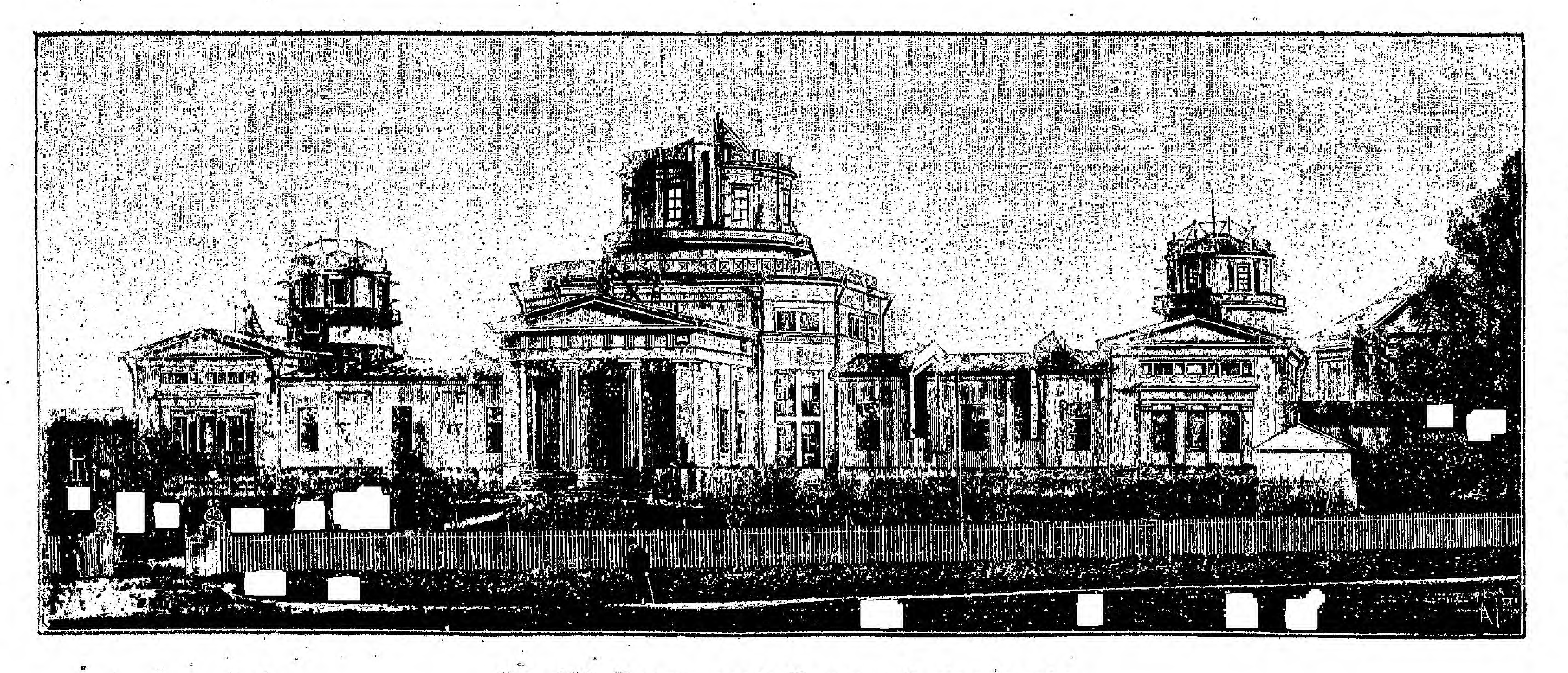
башня, вѣсящая 3000 пуд., приводится въ движеніе лишь нажатіемъ электрической кнопки.

Сумма, затраченная на сооруженіе рефрактора, приблизительно поровну распредѣлилась такимъ образомъ: около 100 тыс. руб. стоилъ объективъ (кромѣ уплаченныхъ г-дамъ Кларкъ 66 тыс. р., обсерваторія понесла убытокъ вслѣдствіе несчастія, постигшаго кронгласъ Шанса), около 100 тыс. р. уплачено Репсольдамъ и около 100 тыс. р. издержано на построеніе башни.

Пулковская обсерваторія. 31. Намъ предстоитъ теперь сказать нѣсколько словъ о самой Пулковской обсерваторіи, этомъ величественномъ храмѣ науки, который вотъ уже болѣе полувѣка неизмѣнно сохраняетъ за собою одно изъ первыхъ мѣстъ въ свѣтѣ среди научныхъ учрежденій этого рода. Правда, въ нѣкоторыхъ обсерваторіяхъ тотъ или другой инструментъ въ отдѣльности лучше или больше, чѣмъ соотвѣтствующій снарядъ въ Пулковѣ, та или другая область астрономическихъ изслѣдованій развита полнѣе [25]), за то наша обсерваторія обладаетъ комплектомъ инструментовъ, предназначенныхъ для самыхъ разнообразныхъ астрономическихъ изысканій, въ ней культивируются *всѣ* многоразличныя отрасли науки о небѣ.

Первая въ Россіи астрономическая обсерваторія была основана еще Петромъ Великимъ при учрежденной имъ Академіи Наукъ (1724 г.). Эта обсерваторія, для завѣдыванія которою былъ приглашенъ извѣстный французскій астрономъ Делиль (Delisle), находилась въ свое время въ цвѣтущемъ состояніи. Но, съ усовершенствованіемъ астрономическихъ инструментовъ и методовъ изслѣдованія, она скоро перестала удовлетворять требованіямъ времени. Неудобнымъ оказалось и положеніе обсерваторіи въ центрѣ шумнаго города, гдѣ ѣзда по улицамъ и сотрясенія почвы и зданій сильно мѣшали наблюденіямъ. А потому уже съ 1760 г. Академія начала вырабатывать проекты учрежденія новой обсерваторіи. Но всѣ они оставались невыполненными, пока дѣло это не принялъ подъ свое покровительство Императоръ Николай I и пока осуществленіе его не было поручено знаменитому ученому Василію Яковлевичу Струве (Friedrich Georg Wilhelm Struve, 1793—1864), который обладалъ для этого и необходимою энергіею, и любовью къ дѣлу, и глубокими познаніями. Онъ съумѣлъ наилучшимъ образомъ

[25]) Таковы напримѣръ: Потсдамская спеціально астрофизическая обсерваторія, Страсбургская обсерваторія, снабженная новѣйшими инструментами для опредѣленія абсолютныхъ координатъ, обсерваторія Yerkes'а близъ Чикаго, съ наибольшимъ въ свѣтѣ рефракторомъ, и т. п.



Фиг. 263. Главное зданіе Пулковской обсерваторіи.

употребить громадныя средства, отпущенныя въ его распоряженіе. Обсерваторія была открыта 7 августа 1839 года. Она занимаетъ возвышенную площадь (въ 30 десятинъ) близъ села Пулково, къ югу отъ Петербурга, въ 18 верстахъ отъ Исаакіевскаго собора. По точнымъ опредѣленіямъ географическое положеніе центра главнаго зданія обсерваторіи оказалось равнымъ: широта 59°46′18″,70, долгота отъ Гринвичской обсерваторіи (близъ Лондона) $2^h 1^m 18^s,66$, отъ Парижской обсерваторіи $1^h 51^m 57^s,06$; высота надъ уровнемъ моря 247,6 фут. Обширная площадь обсерваторіи, засаженная деревьями, представляетъ роскошный паркъ, среди котораго здѣсь и тамъ разбросаны различныя зданія. Фиг. 263 представляетъ главное зданіе, построенное подъ руководствомъ В. Струве профессоромъ архитектуры Брюлловымъ. Оно простирается съ запада на востокъ (длина 33 саж.), имѣетъ крестообразную форму и увѣнчано тремя вращающимися башнями. Стѣны зданія имѣютъ вертикальные разрѣзы: четыре въ плоскости меридіана (видны на фиг. 263) и одинъ въ плоскости перваго вертикала (сзади, въ южномъ выступѣ). Здѣсь помѣщаются большіе измѣрительные инструменты; нѣкоторые изъ нихъ описаны нами выше (меридіанный кругъ и пассажный инструментъ въ 1-омъ вертикалѣ — Репсольда, вертикальный кругъ и меридіанный пассажный инструментъ — Эртеля). Среднюю башню занимаетъ 15-дюймовый рефракторъ Мерца фиг. 257). Въ центральной залѣ помѣщается галлерея портретовъ знаменитыхъ астрономовъ и строителей инструментовъ, начиная съ Коперника и кончая выдающимися современными учеными.

Заслуживаетъ вниманія также зданіе астрофизической лабораторіи, выстроенное въ 1886 году. Въ немъ находятся: комната для электрическихъ баттарей, двѣ комнаты для фотографическихъ работъ, изъ нихъ — одна темная, зала для физическихъ изслѣдованій: измѣренія фотографическихъ снимковъ, сравненія мѣръ, взвѣшиваній, электрическихъ измѣреній и проч., зала для спектроскопическихъ работъ, гдѣ находится особый приборъ — геліостатъ, при помощи котораго свѣтъ солнца ежедневно въ теченіе 8—10 часовъ можетъ быть автоматически направляемъ въ любое мѣсто залы. Кромѣ этого аппарата, лабораторія, конечно, снабжена богатымъ собраніемъ всѣхъ астрономическихъ и физическихъ инструментовъ, фотографическихъ и химическихъ принадлежностей, которые необходимы для точнѣйшихъ астрофизическихъ изысканій. Къ астрофизической лабораторіи примыкаетъ машинное отдѣленіе, гдѣ помѣщаются паровая машина и приводимыя ею въ дѣйствіе двѣ

динамо-машины, изъ которыхъ одна служитъ для электрическаго освѣщенія, другая — для вращенія башни большого рефрактора и заряженія аккумуляторовъ.

Въ сторонѣ отъ главной обсерваторіи находится зданіе съ двумя башнями, составляющее какъ бы отдѣльную обсерваторію и предназначенное для упражненія офицеровъ генеральнаго штаба въ астрономическихъ и геодезическихъ изысканіяхъ, такъ какъ одна изъ цѣлей учрежденія Пулковской обсерваторіи, какъ гласитъ Высочайше утвержденный ея уставъ, состоитъ: „въ доставленіи возможности офицерамъ генеральнаго штаба, корпуса топографовъ, флота и другимъ молодымъ ученымъ—усовершенствоваться въ практической астрономіи и примѣненіи ея къ географіи и геодезіи". Въ Пулковской школѣ получили свое научное воспитаніе многіе изъ извѣстныхъ русскихъ геодезистовъ, прославившихся затѣмъ многочисленными работами по картографіи, гипсометріи и гидрографіи нашего обширнаго отечества.

Совершенно такое же, по внѣшнему виду, зданіе предназначено для храненія богатой коллекціи различныхъ переносныхъ инструментовъ, которые употребляются въ астрономическихъ и геодезическихъ экспедиціяхъ. Кромѣ перечисленныхъ большихъ зданій, включая сюда и описанную раньше башню большого рефрактора (фиг. 262), по всей территоріи Пулкова разсѣяны много большихъ и малыхъ жилыхъ домовъ и домиковъ, башенъ, башенокъ и будокъ, служащихъ для помѣщенія малыхъ инструментовъ, различныхъ вспомогательныхъ аппаратовъ и проч.

Наше описаніе Пулковской обсерваторіи, конечно, далеко не полно. Мы описали лишь немногіе изъ тѣхъ нѣсколькихъ сотенъ инструментовъ, которыми она обладаетъ и одно перечисленіе которыхъ заняло бы нѣсколько страницъ. Мы совсѣмъ, напримѣръ, проходимъ молчаніемъ всѣ спеціально астрофизическіе инструменты: фотографическія трубы, приборы для измѣренія небесныхъ фотографій и опредѣленія по нимъ относительныхъ координатъ, инстументы для спектральныхъ изслѣдованій неба, фотометры и проч. (о нѣкоторыхъ изъ нихъ упомянуто въ другихъ статьяхъ нашей книги). Однако, нельзя не сказать еще о научно-вспомогательныхъ учрежденіяхъ, имѣющихся при обсерваторіи.

Здѣсь на первомъ планѣ слѣдуетъ поставить прекрасную спеціально-астрономическую библіотеку, которая состоитъ въ настоящее время болѣе, чѣмъ въ 30000 научныхъ сочиненій, и постоянно пополняется. Украшеніемъ этой библіотеки служатъ: почти полное

собраніе рукописей Кеплера, пріобрѣтенное Екатериною II [26]), нѣкоторыя рукописи Регіомонтана, знаменитаго астронома XV вѣка (Regiomontanus или Johann Müller, 1436—1476), и рукописи извѣстнаго астронома также XV вѣка—татарскаго хана Улугъ-Бея, найденныя при завоеваніи Самарканда въ одной изъ мечетей.

Кромѣ галлереи портретовъ, писанныхъ масляными красками, о которой мы упомянули выше, въ зданіи башни большого рефрактора помѣщается еще музей старинныхъ астрономическихъ инструментовъ, которыми наглядно представляется ходъ развитія инструментальной техники съ начала XVIII вѣка до нашего времени. Здѣсь собраны инструменты бывшей академической обсерваторіи, а также упраздненной обсерваторіи въ городѣ Вильнѣ. Въ будущемъ эта коллекція, конечно, расширится, когда само Пулково и другія русскія обсерваторіи начнутъ сдавать въ архивъ свои инструменты, которые при всемъ ихъ теперешнемъ совершенствѣ, безъ сомнѣнія, отстанутъ со временемъ отъ успѣховъ науки и техники и будутъ замѣняться инструментами болѣе совершенными.

Наконецъ, при обсерваторія имѣется механическая мастерская для вывѣрки, *исправленія и даже построенія* [27]) новыхъ астрономическихъ, геодезическихъ и физическихъ инструментовъ, снабженная лучшими механическими приспособленіями и машинами, каковы напримѣръ: линейныя дѣлительныя машины, машины для раздѣленія круговъ, для нарѣзки зубцовъ, гидравлическій прессъ и т. п.

Обсерваторія находится въ завѣдываніи опытнаго астронома, который, согласно уставу, долженъ быть въ то же время и членомъ Петербургской Академіи Наукъ, т. е. лицомъ, научныя заслуги котораго общепризнаны. Вотъ имена директоровъ Пулковской обсерваторіи съ ея основанія по настоящее время: В. Струве (1839—1862), его сынъ Отто Струве (1862—1889, Федоръ Александровичъ Бредихинъ (1890—1895; вышелъ въ отставку вслѣдствіе разстроеннаго здоровья; въ настоящее время—академикъ по кафедрѣ практической астрономіи), О. А. Баклундъ (съ 1895 г. по настоящее время, академикъ по кафедрѣ теоретической астрономія). Кромѣ директора, персоналъ обсерваторіи состоитъ изъ: вице-директора, нѣсколькихъ старшихъ астрономовъ, спеціалиста-астрофизика, адъюнктъ-астрономовъ, сверхштатныхъ астрономовъ, асистен-

---

[26]) См. біографію Кеплера, стр. 348.

[27]) Такъ, напр., недавно въ Пулковской механической мастерской механикомъ обсерваторіи Фрейбергомъ построенъ меридіанный кругъ для вновь учрежденнаго отдѣленія Пулковской обсерваторіи въ городѣ Одессѣ.

товъ, вычислителей (въ числѣ ихъ двѣ женщины), ученаго секретаря, письмоводителя, механика, часового мастера, смотрителя и врача.

Чтобы обрисовать дѣятельность Пулковской обсерваторіи за истекшія 60 лѣтъ ея существованія, потребна была бы отдѣльная монографія. Не вдаваясь въ подробности, мы скажемъ только, что въ ея стѣнахъ и ея инструментами произведены многочисленныя астрономическія изслѣдованія первостепенной важности; нѣкоторыя изъ нихъ составили эпоху въ астрономіи и никогда не будутъ забыты въ исторіи науки. Сохраняя постоянно дѣятельныя сношенія съ другими обсерваторіями, университетами, учеными обществами всѣхъ странъ, съ отдѣльными людьми науки, а также извѣстными механиками, наша обсерваторія всегда стояла на высотѣ научныхъ задачъ времени, давая цѣнные вклады въ общую сокровищницу астрономическихъ знаній. Она снаряжала многочисленныя научныя экспедиціи, участвовала во многихъ международныхъ астрономическихъ предпріятіяхъ, а въ нѣсколькихъ случаяхъ самыя эти предпріятія были вызваны къ жизни по инціативѣ и почину пулковскихъ астрономовъ, а затѣмъ при дружныхъ усиліяхъ другихъ обсерваторій и при дѣятельномъ участіи Пулкова— благополучно доведены до конца [*]). О заслугахъ обсерваторіи для геодезіи, картографіи, гидрографіи и нивеллировки различныхъ частей нашего государства мы уже упоминали. Многочисленныя работы, предпринятыя въ этой области соотвѣтствующими учрежденіями (генеральнымъ штабомъ, корпусомъ топографовъ, гидрографическимъ департаментомъ и проч.), были выполнены, выполняются и теперь, по инструкціямъ обсерваторіи, при ея содѣйствіи въ теоретической, а иногда и въ практической сторонѣ дѣла. Инструменты для этихъ изысканій или ссужаетъ сама обсерваторія, или въ ней тщательно вывѣряются рабочіе инструменты и образцы мѣръ упомянутыхъ учрежденій. Наконецъ, въ Пулковѣ же получили и получаютъ свою научную подготовку и тѣ лица, которыя руководятъ этими изысканіями или сами участвуютъ въ нихъ. Кромѣ спеціалистовъ геодезіи и другихъ практическихъ отраслей астрономіи, Пулково дало Россіи также многихъ ученыхъ—теоретиковъ, которые, становясь членами другихъ русскихъ обсерваторій, профессорами университетовъ и проч., разносятъ свѣтъ знанія по всему необъятному пространству нашего отечества, такъ нуждающагося въ просвѣщеніи во всѣхъ его видахъ.

---

[*]) Объ этомъ см. также статью: „Форма и размѣры земли".

Такимъ образомъ, Пулковская обсерваторія представляетъ грандіозный памятникъ науки XIX вѣка.

Заключеніе. 32. Мы закончили рѣчь объ астрономическихъ инструментахъ. Конечно, наши очерки далеко не исчерпываютъ вопроса. Но если мы успѣли дать хотя поверхностное понятіе о томъ, какъ производятся астрономическія изслѣдованія, какихъ напряженныхъ усилій они требуютъ, какая необычайная точность достигается при этомъ современными инструментами, — если съумѣли укрѣпить довѣріе читателя къ нашей наукѣ, разрѣшающей путемъ тщательныхъ измѣреній величайшіе вопросы о строеніи вселенной, — то мы сочтемъ нашу задачу выполненной.

Л. Серебряковъ.

Библіографія.

К. Шарнгорстъ, проф. Введеніе въ астрономію. 2-е изданіе. Спб. 1893 г. Ц. 2 р. 50 к. Начала сферическ. астр. изложены очень просто, хотя требуютъ знакомства съ тригонометріей. См. также главы: VI—Астрономическ. инструменты и наблюденія; XVI—Общія понятія объ опредѣленіи элементовъ планетъ и кометъ.

Ньюкомбъ и Энгельманъ. Астрономія въ общепонятномъ изложеніи. Спб. 1896. Ц. 5 р. 60 к. Часть II—Практическая астрономія.

Дж. Гершель. Очерки астрономіи. Переводъ Драшусова. Москва. 1861. Томъ I. Глава III—Объ астрономическихъ снарядахъ и наблюденіяхъ вообще.

F. G. W. Struve. Description générale de l'Observatoire astronomique centra de Pulcova. St. Petersbourg. 1845.

Къ пятидесятилѣтію Николаевской главной астрономической Обсерваторіи. Спб. 1889. Здѣсь описаніе и рисунки 30-дюймоваго рефрактора и астрофизической лабораторіи.

A. v. Schweiger-Lerchenfeld. Atlas der Himmelskunde. A. Hartleben's Verlag. Wien, 1897—98. Цѣна 18 руб. (Описанія и прекрасные рисунки многихъ инструментовъ и обсерваторій).

Handwörterbuch der Astronomie. Herausgegeb. v. Prof. D-r. *W. Valentiner* Verlag v. Eduard Trewendt. Breslau, 1896—98. 4 объемистыхъ тома, — цѣна каждому въ Россіи 12 р. Въ этомъ словарѣ — подробныя статьи о каждомъ инструментѣ въ алфавитномъ порядкѣ.

41. Успѣхи наблюдательной астрономіи.

1. Астрономическія наблюденія, о которыхъ здѣсь будетъ рѣчь, состоятъ: 1) либо въ опредѣленіи положенія свѣтила въ данный моментъ, 2) либо въ опредѣленіи видимаго разстоянія между двумя свѣтилами въ данное время, 3) либо въ опредѣленіи момента вступленія свѣтила на данный кругъ небесной сферы (меридіанъ, первый вертикалъ). **Средства изслѣдованія.**

Всѣми нашими знаніями мы обязаны наблюденію, потому что теорія можетъ быть основана только на фундаментѣ хорошихъ наблюденій. Успѣхи наблюдательной астрономіи обусловливаются какъ успѣхами астрономической науки, такъ и усовершенствованіями инструментовъ. Началу XVII вѣка принадлежитъ слава двухъ открытій, имѣвшихъ громадное значеніе въ исторіи развитіи астрономіи. Мы говоримъ объ открытіи телескопа и логарифмовъ. Съ помощью телескопа мы могли проникнуть въ отдаленныя глубины пространства. Если бы самый обыкновенный театральный бинокль попалъ въ руки Гиппарху (190—120 до Р. Х.), то уже двѣ тысячи лѣтъ тому назадъ была бы раскрыта оптическая и космологическая загадка млечнаго пути, и не на долю Галилея выпало бы открытіе фазъ Венеры, спутниковъ Юпитера и пр. Съ помощью логарифмовъ всѣ утомительныя вычисленія прежнихъ астрономовъ свелись къ простому сложенію и вычитанію. Трудъ цѣлаго мѣсяца сталъ теперь дѣломъ одного часа.

2. Степень точности астрономическихъ наблюденій была различна въ различныя времена. **Точность наблюденій.**

Наблюденія Клавдія Птоломея (*Κλαύδιος Πτολεμαῖος*, 100—170 по Р. Х.) были ошибочны, по меньшей мѣрѣ, на 10 минутъ въ дугѣ для угловъ и на 15 минутъ для времени явленій.

Неточность наблюденій Тихо Браге (Tyge или Tycho Brahe, 1546—1601) заключалась уже только между 1—2 минутами дуги.

Въ XVII столѣтіи, съ введеніемъ астрономической трубы, сѣтки нитей и часовъ, точность наблюденій значительно увеличилась.

Въ XVIII вѣкѣ Браддей (James Bradley, 1692 — 1762) въ Англіи основалъ точную астрономію.

Наконецъ, въ XIX вѣкѣ Бессель (Friedrich Wilhelm Bessel, 1784—1846) въ Германіи создалъ современную школу практической астрономіи.

Въ настоящее время нельзя пренебрегать даже *одною десятою частью* секунды въ дугѣ и *одною сотою частью* секунды во времени.

Тихо Браге. 3. Нашъ обзоръ успѣховъ наблюдательной астрономіи мы начинаемъ съ эпохи Тихо Браге. Въ исторіи астрономіи Тихо Браге [1]) стоитъ піонеромъ. Теоріи его забыты и забыты по справедливости, но его наблюденія удивительны. Они, какъ извѣстно, привели Кеплера къ законамъ планетныхъ движеній. Кеплеръ нашелъ между теоріей *Птоломея* и *наблюденіями* Тихо Браге разность около 8 минутъ. Такую ошибку Кеплеръ не могъ предполагать въ наблюденіяхъ Тихо Браге, и это-то повело его къ изслѣдованію движеній планеты Марса.

Первая [2]) обсерваторія въ мірѣ была воздвигнута Тихо Браге на островѣ Хвенъ (Hveen, въ Балтійскомъ морѣ) въ Даніи; она съ честью носила гордое имя Уранибургъ, т. е. „замокъ неба". Здѣсь онъ со своими учениками производилъ наблюденія инструментами, не только имъ самимъ изобрѣтенными, но и построенными собственными руками. Тихо Браге первый ввелъ въ астрономическую прак-

---

[1]) Тихо Браге род. 14 декабря 1546 г. въ Кнудструпѣ въ Даніи. Родители его принадлежали къ старинному дворянскому роду. Воспитывался у дяди своего Юргена. Въ 1559 г. поступилъ въ Копенгагенскій университетъ, въ 1562 г. перешелъ въ Лейпцигъ. Послѣ солнечнаго затменія въ 1560 г. въ немъ проснулась любовь къ астрономіи. Путешествуя по Германіи въ 1566—70 г., онъ завязалъ знакомства съ извѣстными въ то время астрономами и химиками. Вернувшись на родину въ 1570 году, Тихо на средства другого своего дяди (Steen Bille) построилъ себѣ близъ Кнудструпа частную обсерваторію. Здѣсь онъ открылъ 11 ноября 1572 г. и наблюдалъ знаменитую новую звѣзду въ Кассіопеѣ, чѣмъ пріобрѣлъ себѣ извѣстность въ ученомъ мірѣ. Женившись на крестьянкѣ, Тихо навлекъ на себя вражду родныхъ, что заставило его вновь покинуть родину. Въ 1575 г. онъ опять путешествуетъ по Германіи и посѣщаетъ извѣстнаго въ то время астронома и покровителя наукъ — Вильгельма IV, ландграфа Гессенъ-Кассельскаго. Вслѣдствіе ходатайства Вильгельма, датскій король Фридрихъ II подарилъ Тихо островъ Хвенъ (Hveen), гдѣ и была устроена знаменитая обсерваторія „Уранибургъ". По смерти Фридриха



Тихо Браге (Tycho Brahe)
1546 — 1601

тику принципъ современныхъ *меридіанныхъ наблюденій*. Онъ воспользовался равномѣрнымъ вращеніемъ земли около оси для наблюденія небесныхъ свѣтилъ при прохожденіи ихъ черезъ меридіанъ: записывая время прохожденія, онъ въ то же время наблюдалъ высоту свѣтила въ меридіанѣ (меридіанную высоту). Для этихъ меридіанныхъ наблюденій Тихо Браге построилъ особый инструментъ: Qnadrans muralis sive Tychonicus, т. е. стѣнной квадрантъ, котораго изображеніе читатель найдетъ на страницѣ 429 настоящей книги. Этотъ способъ меридіанныхъ наблюденій до сихъ поръ примѣняется во всѣхъ обсерваторіяхъ.

4. Древніе астрономы знали, что рефракція увеличиваетъ высоту свѣтила, но они не умѣли исправлять свои наблюденія за рефракцію. Между тѣмъ поправка за рефракцію въ ряду поправокъ, которымъ подлежатъ наблюденія, занимаетъ по величинѣ первое мѣсто. **Рефракція.**

Первое опредѣленіе рефракціи сдѣлалъ Тихо Браге. Онъ зналъ, что полусумма меридіанныхъ высотъ какой-либо околополярной звѣзды (т. е. такой звѣзды, для которой разстояніе ея отъ сѣвернаго полюса міра менѣе дополненія широты мѣста наблюденія) есть величина постоянная и равняется высотѣ видимаго полюса надъ горизонтомъ, т. е. астрономической широтѣ мѣста наблюденія. Тихо Браге замѣтилъ, что эта полусумма измѣняется, а именно она увеличивается для тѣхъ звѣздъ, которыя въ нижней кульминаціи *n* (sub polo, подъ полюсомъ, какъ говорятъ астрономы) приближаются къ горизонту и въ верхней кульминаціи *m* (фиг. 231) приближаются къ зениту. Въ зенитѣ же рефракція — нуль, потому что лучи проходятъ черезъ атмосферу отвѣсно. Слѣ-

---

начались для Тихо различныя непріятности и преслѣдованія враговъ, которыхъ у него было не мало среди придворныхъ. Потерявъ свои владѣнія, онъ принужденъ былъ, наконецъ (1597 г.), оставить Давію. Черезъ два года онъ принялъ приглашеніе императора Рудольфа II и переселился въ Прагу въ качествѣ придворнаго астронома и математика. Здѣсь сначала онъ устроилъ себѣ обсерваторію и химическую лабораторію въ замкѣ Бенатекъ близъ города, подаренномъ ему императоромъ, а потомъ переселился въ самую Прагу во дворецъ, купленный для него Рудольфомъ. Но, едва успѣвъ приспособить это новое помѣщеніе для своихъ занятій, Тихо заболѣлъ и умеръ 13 октября 1601 г. Главныя сочиненія Тихо: „Astronomiae instauratae progymnasmata“ (Прага, 1602), гдѣ собраны его наблюденія и изложена его система міра, и „Astronomiae instauratae mechanica“ (Вандсбекъ, 1597), гдѣ описаны обсерваторія „Ураниборгъ“ и инструменты, въ ней находившіеся. *Л. С.*

²) Мы говоримъ первая, потому что она наиболѣе подходила къ современнымъ нашимъ обсерваторіямъ; вообще же о первыхъ по времени обсерваторіяхъ см. „Начало астрономіи“ II, 34.

довательно, рефракція тѣмъ больше возвышаетъ свѣтила, чѣмъ ближе они къ горизонту.

Пусть h — видимая высота звѣзды въ верхней кульминаціи, т. е. уголъ NCm; истинная высота ея будетъ $h-r$, гдѣ r — величина рефракціи. Видимая высота той же звѣзды въ нижней кульминаціи $NCn=h'$; истинная высота въ нижней кульминаціи будетъ $h'-r'$, гдѣ r' — величина рефракціи, соотвѣтствующая данной высотѣ r'. Отсюда

$$2PCN=(h-r)+(h'-r')=(h+h')-(r+r').$$

Такимъ образомъ, зная широту PCN и меридіанныя высоты h и h', Тихо Браге могъ опредѣлить величину рефракціи. Тихо Браге построилъ первую эмпирическую таблицу рефракціи.

Изъ своихъ наблюденій онъ опредѣлилъ величину рефракціи для различныхъ высотъ, такъ что, напримѣръ, для рефракціи на горизонтѣ онъ далъ довольно близкое значеніе 34′ (истинное же=34′,9).

Нынѣ полагаютъ, что рефракція зависитъ не только отъ высоты, но *и отъ температуры, давленія и влажности воздуха* во время наблюденія. Таблицы рефракціи новѣйшаго времени (Бесселя, Гюльдена) основаны на эмпирическихъ формулахъ, потому что для приложенія математическаго анализа необходимо сдѣлать нѣкоторое предположеніе о составѣ атмосферы, т. е. о распредѣленіи плотностей воздушныхъ слоевъ.

Обыкновенно, наблюдаютъ свѣтила не ниже 10° надъ горизонтомъ.

Тихо Браге заключаетъ собою время дотелескопической астрономіи.

Изобрѣтеніе зрительной трубы.

5. Въ 1609 году Галилей (1564 — 1642) построилъ зрительную трубу (галилеева труба или театральный бинокль) и съ помощью нея обогатилъ науку цѣлымъ рядомъ блестящихъ открытій. Такъ, 8 января 1610 года онъ открылъ спутниковъ у Юпитера; онъ первый далъ, правда грубый, способъ для измѣренія высоты лунныхъ горъ по длинѣ ихъ тѣни, открылъ фазы Венеры, много новыхъ звѣздъ и туманностей.

Эти оптическія и астрономическія открытія Галилея далеко уступаютъ, конечно, его теоретическимъ открытіямъ въ механикѣ. Поггендорфъ въ своей исторіи физики [3]) справедливо говоритъ по этому

---

[3]) J. C. Poggendorff. Geschichte der Physik. Vorlesungen gehalten an der Universität zu Berlin. Leipzig. 1879, стр. 217.

поводу: „Какъ ни много славы и выгоды они принесли Галилею, какъ ни важны они были въ самомъ дѣлѣ для науки, нельзя, однако, отрицать, что личная заслуга Галилея была тутъ незначительна, что эти открытія, послѣ того какъ труба была изобрѣтена, по необходимости должны были быть сдѣланы; а чтобы ихъ сдѣлать, не надо остроумія *Галилея*"...

Употребленіе телескопа, какъ инструмента для опредѣленія и измѣренія направленій, началось, вѣроятно, около средины XVII столѣтія. Честь открытія того способа наблюденія, который и понынѣ служитъ основаніемъ новѣйшей наблюдательной астрономіи, принадлежитъ англичанину Уильяму Гаскоину (William Gascoigne). Онъ родился въ 1621 году и въ 1640 году, когда ему было всего 19 лѣтъ, ввелъ въ употребленіе сѣтку нитей. Онъ безвременно погибъ въ 1644 году въ битвѣ при Марстонъ-Мурѣ (Marston Moor), сражаясь за дѣло Карла I. Въ общее употребленіе способъ этотъ вмѣстѣ съ кеплеровою трубою былъ введенъ только въ 1667 г. французскимъ аббатомъ Пикаромъ. (Picard).

6. Астрономъ, сдѣлавшій столько же наблюденій, сколько неутомимый Тихо Браге, былъ Олаусъ Рёмеръ (1644—1710). Съ его именемъ связаны такія открытія, которыя подвинули астрономію сразу на многіе десятки лѣтъ впередъ. Къ сожалѣнію, всѣ его наблюденія погибли жертвой страшнаго пожара, опустошившаго Копенгагенъ въ 1728 году. Только наблюденія, сдѣланныя Рёмеромъ въ теченіе трехъ дней, съ 21 по 23 декабря 1706 года, удалось спасти. Они были изданы въ 1845 году Галле въ Берлинѣ подъ названіемъ: Olai Roemeri Triduum observationum astronomicarum. О. Рёмеръ.

Всѣмъ извѣстно изъ курсовъ физики, что Рёмеръ первый опредѣлилъ скорость свѣта по затменіямъ юпитеровыхъ спутниковъ [1]).

Подобно Тихо Браге, Рёмеръ изобрѣлъ новые инструменты, составляющіе и по настоящее время необходимую принадлежность каждой обсерваторіи. Такъ, онъ первый построилъ „пассажный инструментъ" и „меридіанный кругъ". Наконецъ, онъ же придумалъ параллактическую или экваторіальную установку астрономическихъ трубъ, благодаря которой можно слѣдить за небеснымъ тѣломъ во все время его пребыванія надъ горизонтомъ.

Немного астрономовъ, какъ древнихъ, такъ и новыхъ, которымъ наблюдательная астрономія обязана такими успѣхами, какъ Олаусу Рёмеру.

---

[1]) См. „Скорость свѣта II, 39.

Джемсъ Брадлей.

7. Въ 1750 г. Джемсъ Брадлей въ Гринвичской обсерваторіи установилъ меридіанный кругъ, у котораго фокусное разстояніе объектива равнялось $2^1/_2$ метрамъ, и превосходные часы Грэма. Въ теченіе 12 лѣтъ днемъ и ночью производилъ Брадлей свои удивительныя по точности наблюденія звѣздъ, луны и планетъ. Наблюденія Брадлея, вычисленныя съ большою тщательностью Бесселемъ (Fundamenta Astronomiae, изданныя Бесселемъ въ 1818 году, содержатъ 3222 Брадлеевы звѣзды), привели къ великому открытію. По сравненію Брадлеевыхъ наблюденій съ новѣйшими обнаружилось, что координаты звѣздъ непостоянны, т. е. звѣзды имѣютъ собственныя поступательныя движенія.

Открытіе аберраціи свѣта и нутаціи земной оси принадлежитъ тому же Брадлею [5]).

Открытія У. Гершеля.

8. Если мы распространимъ законъ тяготѣнія Ньютона на всѣ небесныя свѣтила, то намъ станетъ понятнымъ собственное движеніе звѣздъ: собственное движеніе звѣзды есть слѣдствіе притяженія другихъ звѣздъ.

Солнце есть тоже звѣзда, слѣдовательно, и оно должно имѣть собственное движеніе. Видимыя собственныя движенія звѣздъ наблюдаются нами съ земли, такъ сказать, съ обсерваторіи, участвующей въ собственномъ движеніи солнечной системы. Поэтому видимыя собственныя движенія звѣздъ составляются изъ истиннаго собственнаго движенія звѣзды (такъ называемаго motus peculiaris) и собственнаго движенія, равнаго и противоположнаго собственному движенію солнца (такъ называемаго motus parallacticus).

Поступательное движеніе солнечной системы открылъ Уильямъ Гершель (1738 — 1822). Это былъ истинно неутомимый изслѣдователь видимаго неба. Онъ открылъ и составилъ каталогъ 2500 туманностей и 806 двойныхъ звѣздъ.

Гершель замѣтилъ въ небѣ много звѣздъ очень тѣсныхъ и объяснилъ это тѣмъ, что онѣ лежатъ близъ одной линіи зрѣнія. Наблюдая ихъ, онъ открылъ у нихъ относительное движеніе. Значитъ, по закону Ньютона одна звѣзда описываетъ эллипсъ вокругъ другой. Такимъ образомъ, были открыты физическія двойныя звѣзды.

Вторникъ 13 марта 1781 года представляетъ знаменательный день въ лѣтописяхъ наблюдательной астрономіи. „Въ эту ночь", пишетъ Гершель въ Лондонское Королевское Общество: „изслѣдуя малыя звѣзды близъ η Близнецовъ, я замѣтилъ одну звѣздочку

[5]) См. „Скорость свѣта" II, 39.

видимо ярче остальныхъ. Пораженный ея необыкновеннымъ видомъ я сравнилъ ее съ η Близнецовъ и другою звѣздой; найдя, что она много ярче и той и другой, я заподозрѣлъ въ ней комету".

Эта „комета" оказалась новою большою планетой, неизвѣстною древнимъ, вдвое дальше отъ солнца, чѣмъ Сатурнъ. Она получила имя Урана, а астрономъ, ее открывшій, получилъ отъ короля Георга титулъ лорда и пенсію въ 200 фунтовъ стерлинговъ. Двухъ спутниковъ у Сатурна также открылъ Гершель.

9. Когда астрономическія теоріи достигли болѣе или менѣе достаточной точности, такъ что удовлетворяли наблюденіямъ, и можно было предвычислять небесныя явленія, тогда явилась потребность въ такъ называемыхъ астрономическихъ ежегодникахъ. Они содержатъ положенія свѣтилъ и небесныя явленія текущаго года. Старѣйшимъ изъ нихъ былъ Connaissance des Temps ou des mouvements célestes à l'usage des astronomes et des navegateurs, изданный аббатомъ Пикаромъ въ Парижѣ въ 1679 году. Съ тѣхъ поръ Connaissancé des Temps аккуратно выходилъ ежегодно среди всѣхъ перемѣнъ французскаго правительства, и въ сентябрѣ 1898 года уже вышелъ 222-ой томъ для 1900 года. Онъ содержитъ положеніе луны на каждый часъ года, положенія солнца и планетъ для каждаго дня года и мѣста 318 главныхъ неподвижныхъ звѣздъ, затменія солнца и луны, покрытія звѣздъ луной и лунныя разстоянія. Въ настоящее время такіе ежегодники или эфемериды (греч. ἐφήμερις, δος, отъ ἐπί на, ἡμέρα день) издаются правительствами Германіи (Berliner Astronomisches Jahrbuch. съ 1776 года), Англіи (The British Nautical Almanac, съ 1797 года), Франціи, Сѣверо-Американскихъ Соединенныхъ Штатовъ. (The American Ephemeris and Nautical Almanac, съ 1855 года). Обыкновенно они выходятъ на три года впередъ, такъ что, напримѣръ, астрономическій ежегодникъ для 1900 года выходитъ въ концѣ 1897 года. Цѣль ихъ дать астроному на сушѣ или на морѣ возможность опредѣлять свое положеніе помощью наблюденія небесныхъ свѣтилъ. Имѣя при себѣ эфемериду, хронометръ и инструментъ, можно въ одинъ вечеръ опредѣлить свое мѣсто на земномъ шарѣ. Астрономическія эфемериды.

10. Каталогъ звѣздъ есть роспись звѣздъ, расположенныхъ по ихъ прямому восхожденію. Цѣль каталога—дать прямое восхожденіе и склоненіе звѣзды для данной эпохи. Мѣста звѣздъ въ каталогѣ суть такъ называемыя среднія, отнесенныя къ экватору и точкѣ весенняго равноденствія для начала года каталога. Замѣтимъ, что видимымъ мѣстомъ звѣзды называется наблюденное ея мѣсто на Звѣздные каталоги.

небесной сферѣ, исправленное только за инструментальныя ошибки и за рефракцію. Истиннымъ мѣстомъ звѣзды называется ея видимое мѣсто, исправленное за аберрацію. Если истинное мѣсто звѣзды мы исправимъ за нутацію, то получимъ среднее ея мѣсто.

Если мы желаемъ пользоваться звѣзднымъ каталогомъ, то нужно прежде всего вычислить среднее мѣсто звѣзды для начала даннаго года, т. е. придать прецессію и собственное движеніе за время, протекшее отъ эпохи каталога до начала даннаго года. Потомъ надо придать аберрацію и нутацію за промежутокъ времени отъ начала даннаго года до дня наблюденія. Полученное мѣсто звѣзды и будетъ ея истинное мѣсто.

Первый звѣздный каталогъ былъ составленъ уже Гиппархомъ и содержалъ 1080 звѣздъ для эпохи 125 года до Р. Х.

Каталоги современные раздѣляются на два типа. Одни каталоги даютъ мѣста большого числа звѣздъ, но приближенно; таковъ каталогъ боннскаго астронома Аргеландера „Durchmusterung des nördlichen Himmels“, содержащій 324198 звѣздъ до 9 величины. Другіе же звѣздные каталоги суть точные, подобно пулковскимъ, гринвичскимъ и другимъ. Они даютъ положенія нѣсколькихъ сотъ такъ называемыхъ фундаментальныхъ звѣздъ или точекъ сравненія въ небѣ, съ точностью $^1/_2$—$^2/_3$ секунды дуги.

Для астронома-наблюдателя наибольшее значеніе имѣютъ каталоги, называемые Международнымъ Астрономическимъ Обществомъ (Astronomische Gesselschaft) и содержащіе точныя мѣста всѣхъ звѣздъ сѣвернаго неба до девятой величины для эпохи 1875 г. Для этой цѣли небо было раздѣлено на поясы (зоны) по склоненію, и каждая обсерваторія наблюдала звѣзды только одной какой-нибудь зоны, напримѣръ, отъ $+20^0$ до $+25^0$.

Открытіе малыхъ планетъ.

11. Въ извѣстномъ рядѣ Боде, представляющемъ разстоянія извѣстныхъ планетъ отъ солнца, существуетъ пробѣлъ между Марсомъ и Юпитеромъ:

0,4	0,7	1,0	1,6	2,8	5,2	10,0	19,6	38,8
Меркурій.	Венера.	Земля.	Марсъ.	—	Юпитеръ.	Сатурнъ.	Уранъ.	—

Съ цѣлью открыть недостающую планету, германскій астрономъ Цахъ (Zach) въ концѣ XVIII столѣтія составилъ кружокъ изъ нѣсколькихъ астрономовъ—астрономическую тайную полицію, по его выраженію. Въ 1800 году они раздѣлили небо близъ зодіака на 24 участка, и каждый долженъ былъ наблюдать порученную ему

часть неба. Однако, открыть новую планету было суждено не имъ, а совершенно имъ неизвѣстному итальянскому астроному Піацци (Piazzi), которому наука обязана цѣннымъ каталогомъ звѣздъ.

Наблюдая 1 января 1801 года созвѣздіе Тельца, Піацци замѣтилъ звѣздочку, которая потомъ въ теченіе нѣсколькихъ вечеровъ измѣнила свое мѣсто. Онъ полагалъ поэтому, что это движущееся свѣтило есть комета.

По наблюденнымъ положеніямъ этого новаго свѣтила, еще молодой тогда германскій математикъ Гауссъ вычислилъ его орбиту. По вычисленіямъ Гаусса, разстояніе этого свѣтила отъ солнца оказалось 2,767, по закону же Боде оно равно 2,8. Это и была первая малая планета Церера. Въ 1802 году Ольберсъ открылъ Палладу, въ 1804 г. Гардингъ открылъ Юнону, въ 1807 г. Ольберсъ открылъ Весту. Въ настоящее время (1898) число ихъ заходитъ за 400.

12. Видимыя собственныя движенія звѣздъ, какъ извѣстно, представляютъ равномѣрное поступательное движеніе по большому кругу небесной сферы, т. е. звѣзды движутся въ пространствѣ равномѣрно и прямолинейно. Если же звѣзды движутся вслѣдствіе взаимнаго притяженія, то это притяженіе, какъ всякая сила, должно отклонять звѣзду отъ прямолинейнаго пути и должно измѣнить ея путь въ кривую линію, обращенную вогнутостью къ притягивающему центру. Для того, чтобы замѣтить эту кривизну траэкторіи звѣзды, необходимы многія сотни лѣтъ, потому что собственныя движенія звѣзды крайне малы. Иное дѣло двойныя звѣзды. **Двойныя звѣзды.**

Составляющія физической двойной звѣзды, кромѣ общаго прямолинейнаго и равномѣрнаго собственнаго движенія, обращаются вокругъ общаго центра тяжести пары. Поэтому путь, проходимый каждою составляющею звѣздой на сферѣ небесной, не будетъ уже большимъ кругомъ. Слѣдовательно, собственное движеніе каждой звѣзды, имѣющей спутника, слагается изъ двухъ движеній: одно — равномѣрное и прямолинейное движеніе общаго центра тяжести системы въ пространствѣ, второе—періодическое по законамъ Кеплера. Траэкторія второго движенія есть эллипсъ, который описываетъ звѣзда, вслѣдствіе притяженія спутника, вокругъ центра тяжести ихъ обѣихъ,

Такимъ образомъ, собственное движеніе звѣздъ Сиріуса и Проціона (α Большого Пса и α Малаго), опредѣленное Бесселемъ въ 1840 году, настолько отступало отъ равномѣрнаго движенія, что Бессель не могъ приписать это ошибкамъ наблюденій. Слѣдова-

тельно, онъ заключилъ, что обѣ звѣзды имѣютъ спутниковъ, но невидимыхъ темныхъ. Наблюденія Сиріуса обнаружили періодическія измѣненія его собственнаго движенія, такъ что Петерсъ нашелъ время оборота около 50 лѣтъ. Оставалось только увидѣть темнаго спутника Сиріуса.

Это произошло случайно. Въ 1862 году американскіе оптики Альванъ Кларкъ съ сыномъ закончили 18-ти дюймовый рефракторъ для обсерваторіи въ Чикаго. Молодой Кларкъ направилъ трубу на Сиріусъ, чтобы испытать объективъ, и увидѣлъ у Сиріуса спутника. Дѣйствительно, къ востоку отъ ярко блестѣвшаго Сиріуса была слабая звѣздочка и какъ разъ на томъ же самомъ мѣстѣ, какъ предсказывала теорія.

Послѣ того, спутникъ Сиріуса наблюдался много разъ; онъ вдвое меньше Сиріуса, количество испускаемаго имъ свѣта въ 10000 разъ меньше противъ Сиріуса. Частью онъ свѣтитъ собственнымъ своимъ свѣтомъ, частью отраженнымъ сиріусовымъ.

Темный спутникъ Проціона долгое время ускользалъ отъ всѣхъ наблюдателей, пока, наконецъ, 14 ноября 1896 года астрономъ Ликкской обсерваторіи Шеберле (Schaeberle) не открылъ его въ разстояніи 4",59 отъ Проціона. Спутникъ представляетъ слабую звѣздочку 13 величины, и уголъ положенія [6]) у него 318°,8, близокъ къ теоретическому значенію Ауверса, около 275°.

Пятый спутникъ Юпитера.

13. 9 сентября 1892 года Бернардъ на Ликкской обсерваторіи открылъ еще члена нашей солнечной системы—пятаго спутника у Юпитера. Это очень маленькое небесное тѣло, такъ что только инструменты съ отверстіемъ объектива болѣе 20 дюймовъ могутъ его наблюдать. Этотъ спутникъ — ближайшій къ планетѣ и совершаетъ полный оборотъ вокругъ нея всего въ 12 часовъ.

Заканчивая этимъ нашъ очеркъ успѣховъ наблюдательной астрономіи, мы не можемъ не повторить вмѣстѣ съ Гегинсомъ: „Какъ завидна по истинѣ участь тѣхъ, которые еще находятся на востокѣ отъ меридіана жизни!"

Л. Малисъ.

---

[6]) Уголъ положенія, или позиціонный уголъ, составляется линіей, соединяющею обѣ звѣзды, и линіей, проведенною отъ большей звѣзды къ сѣверному полюсу; онъ отсчитывается отъ сѣвера чрезъ востокъ.

Библіографія:

1. *С. Ньюкомбъ* и *Р. Энгельманъ*. Астрономія въ общепонятномъ изложеніи. Переводъ со 2-го нѣмецкаго изданія Н. С. Дрентельна. Спб. 1896. Часть вторая. Практическая астрономія, стр. 95—99 и слѣдующія.

2. *Франсуа Араго*. Общепонятная астрономія. Перев. С. М. Хотинскаго. Томъ I. Спб. 1861.

3. *G. F. Chambers*. A Hamdbook of descriptive and praktical Astronomy. Fourth edition. Vol. II. Inctruments and praktical Astronomy. Oxford, 1890.

4. *R. Grant*. History of Physical Astronomy from the earliest ages to the middle of the nineteenth century. London. 1852.

5. *R. Wolf*. Geschichte der Astronomie. München. 1877.

42. Современное состоянiе Астрономiи.

Tout écart décèle une cause inconnue et peut devenir la source d'une découverte.
(Leverrier) [1].

Возникновенiе астрофизики. 1. Когда въ половинѣ текущаго столѣтiя Кирхгофъ (Kirchhoff) впервые объяснилъ происхожденiе темныхъ линiй солнечнаго спектра, онъ открылъ тѣмъ самымъ новый путь въ астрономической наукѣ. Съ этого времени отъ *старой математической астрономiи*, занимающейся опредѣленiемъ положенiя свѣтилъ на воображаемой небесной сферѣ и изученiемъ ихъ движенiй, съ ея геометрическими методами, отдѣлилась *новая астрономiя* — физическая, или астрофизика. Задачи послѣдней совершенно иного рода: ея предметомъ служитъ изслѣдованiе физическихъ свойствъ небесныхъ тѣлъ, и поэтому методы ея — физическiе.

Астрофизика (греческое *ἀστήρ* звѣзда, *φύσις* природа) является соединительнымъ звеномъ между астрономiей съ одной стороны и физикой и химiей съ другой стороны. Она заимствуетъ инструменты и способы наблюденiя отъ физики, а предметы наблюденiя— отъ астрономiи.

Между тѣмъ, какъ астрономiя—древнѣйшая наука, астрофизика— совсѣмъ молодая. Не болѣе 50 лѣтъ тому назадъ познанiе природы небесныхъ свѣтилъ изъ непосредственныхъ наблюденiй считалось не только невозможнымъ, но даже лежащимъ внѣ предѣловъ человѣческаго познанiя вообще, предѣловъ, поставленныхъ человѣку несовершенствомъ его чувствъ и его пребыванiемъ на землѣ. „Пол-

---

[1]) Всякое уклоненiе обнаруживаетъ неизвѣстную причину и можетъ стать источникомъ открытiя (Леверрье).

вѣка тому назадъ", говоритъ Гегинсъ (Huggins): „думали, что люди никогда не узнаютъ физическихъ свойствъ солнца, звѣздъ и планетъ, и что это всегда будетъ предметомъ спекуляціи и аналогій".

У основателя позитивной философіи, Огюста Конта (Auguste Conte), мы читаемъ, напримѣръ: „Какова могла бы быть разумная основа нашихъ предположеній объ образованіи самихъ солнцъ? Какъ можно подтверждать или опровергать этотъ предметъ какой-либо космогонической гипотезы помощью явленій, когда въ этомъ родѣ не существуетъ ни одного изслѣдованнаго явленія, ни даже поддающагося изслѣдованію?"

Дѣйствительно, какимъ образомъ можемъ мы распространить методы нашихъ земныхъ лабораторій на тѣла, разстоянія которыхъ отъ насъ такъ велики, что самое смѣлое воображеніе не можетъ ихъ представить себѣ.

Строки, взятыя нами изъ „Traité philosophique d'Astronomie populaire", въ настоящее время являются поразительнымъ анахронизмомъ. Вотъ что говоритъ современный великій ученый Гегинсъ, отецъ англійской спектроскопіи: „Только лучистая энергія свѣта, разсказывающая намъ о существованіи свѣтилъ, проходитъ огромное пространство отъ нихъ къ намъ. Къ счастью, этотъ свѣтъ не простой, какъ кажется невооруженному глазу, но состоитъ изъ различныхъ свѣтовыхъ лучей. Только по тому, что одни изъ этихъ лучей потухаютъ, существуетъ на самомъ дѣлѣ нѣчто въ родѣ телеграфнаго ключа, чрезъ который мы получаемъ свѣдѣнія о химической и физической природѣ газовъ, находящихся на свѣтилахъ, поглощающее дѣйствіе которыхъ (газовъ) уничтожаетъ тѣ или другіе лучи".

Тотъ геній — Ньютонъ, который первый разложилъ призмой бѣлый солнечный свѣтъ, не замѣтилъ въ спектрѣ солнца темныхъ линій, а вѣдь эти линія (линіи только потому, что щель имѣетъ форму линіи) и составляютъ телеграфный ключъ, наблюденіе и объясненіе котораго принадлежитъ новой астрономіи.

Какъ извѣстно, пять или шесть темныхъ линій открылъ въ 1802 году Волластонъ (Wollaston), а въ 1815 году Фраунгоферъ (Fraunhofer) открылъ ихъ около 500. Еще одинъ шагъ, и родилась бы новая наука. Но этотъ шагъ былъ сдѣланъ чрезъ 40 лѣтъ двумя гейдельбергскими профессорами Кирхгофомъ и Бунзеномъ (Bunsen). Въ 1859 году, сравнивая прямо солнечный спектръ съ спектрами нѣкоторыхъ химическихъ элементовъ, они объяснили наз-

ченіе темныхъ линій [2]). Въ настоящей статьѣ мы постараемся въ крупныхъ чертахъ обозрѣть современныя задачи одной только математической астрономіи, потому что очеркъ современнаго состоянія астрофизики требуетъ особой статьи, а объ успѣхахъ наблюдательной или практической астрономіи мы говорили выше [3]), и развитію инструментальной техники отведено также свое мѣсто [4]).

Равномѣрность вращенія земли.

2. При измѣнчивости всѣхъ вещей въ природѣ мы должны отрицательно отвѣтить на вопросъ, равномѣрно ли вращеніе земли около оси. Перемѣщенія массъ или слоевъ земли при землетрясеніяхъ, постепенное поднятіе или опусканіе вслѣдствіе воздѣйствія рѣкъ и морскихъ теченій, скопленіе и потомъ таяніе льдовъ въ полярныхъ странахъ и на вершинахъ горъ, треніе волнъ приливовъ и отливовъ, увеличиніе массы земли вслѣдствіе паденія на нее метеоровъ изъ небеснаго пространства, охлажденіе земли—вотъ дѣятели, несомнѣнно вліяющіе на время вращенія земли. Причины эти, по большой части, замедляютъ вращеніе земли, но измѣненія продолжительности вращенія, т. е. измѣненія длины звѣздныхъ сутокъ, настолько незначительны или отчасти уравновѣшиваются между собою, что мы не можемъ опредѣлить ихъ изъ непосредственныхъ наблюденій. Наши часы представляютъ только несовершенную модель земного шара, вращающагося одинъ разъ въ сутки около своей оси: равномѣрность ихъ хода мы провѣряемъ по видимому суточному вращенію небеснаго свода. Стало быть, для рѣшенія нашего вопроса намъ нужно обратиться къ такимъ явленіямъ, которыя не зависятъ отъ вращенія земли.

Такимъ явленіемъ представляется движеніе нашего спутника—луны. Изъ всѣхъ небесныхъ тѣлъ луна движется съ наибольшею скоростью: въ теченіе одного часа она перемѣщается на величину своего видимаго діаметра, т. е. приблизительно на полградуса. Поэтому ошибка въ 1—2 секунды времени ведетъ къ погрѣшности въ полсекунды дуги въ положеніи луны на небѣ, а измѣрить полсекунды не представляетъ въ настоящее время никакихъ затрудненій.

Вѣковое ускореніе луны.

3. Кромѣ своего быстраго собственнаго движенія, луна уже давно представляетъ большой интересъ для астрономовъ. Ея теорія является однимъ изъ труднѣйшихъ вопросовъ теоретической астрономіи. Еще въ прошломъ столѣтіи Галлей (Halley, 1656—1742),

---

[2]) „Спектр. анализъ“ I, 14.

[3]) „Успѣхи наблюд. астрон.“ II, 41.

[4]) „Астр. инстр.“ II, 40.

сравнивая затменія солнца и луны и новѣйшія меридіанныя наблюденія луны, нашелъ, что среднее суточное движеніе луны постоянно увеличивается. Такимъ образомъ, среднее суточное движеніе луны (т. е. путь проходимый луной въ одни сутки), опредѣленное изъ наблюденій древнихъ μ_1 меньше средняго суточнаго движенія μ_2, выведеннаго изъ наблюденій нашего времени. Если мы положимъ вообще, что среднее суточное движеніе луны растетъ пропорціонально времени, т. е.

$$\mu = \mu_0 + \mu' t,$$

гдѣ μ_0 соотвѣтствуетъ эпохѣ $t=0$, то мы получимъ

$$\mu_1 = \mu_0 + \mu' t_1$$
$$\text{и} \quad \mu_2 = \mu_0 + \mu' t_2.$$

Изъ этихъ двухъ уравненій мы могли бы найти μ_0 и μ', зная μ_1 и μ_2, t_1 и t_2, если бы древнія наблюденія были достаточно точны. Поэтому поступаютъ иначе, а именно, для весьма малаго промежутка времени τ можно считать среднее суточное движеніе μ постояннымъ. Въ теченіе промежутка времени τ луна пройдетъ путь $\mu\tau$. Съ помощью пріемовъ интегральнаго исчисленія [5]) мы найдемъ, что движеніе луны по долготѣ, т. е. путь, пройденный луной отъ начальнаго момента $t=0$ до эпохи t, или средняя долгота луны въ моментъ t будетъ

$$l_0 + \mu_0 t + \frac{1}{2} \mu' t^2.$$

Здѣсь l_0 есть средняя долгота луны для времени $t=0$; коэффиціентъ $\frac{1}{2}\mu'$ при квадратѣ времени t^2 называется *вѣковымъ ускореніемъ луны.*

Теоретическое объясненіе этого вѣкового ускоренія и самая его величина представляютъ до сихъ поръ открытый вопросъ.

Для его объясненія возможно допустить три гипотезы: 1) математическая теорія движенія луны еще несовершенна и не въ состояніи точно представить притяженія солнца, земли и другихъ свѣтилъ; 2) вліяніе иной неизвѣстной намъ силы, кромѣ силы всемірнаго тяготѣнія; 3) неравномѣрность вращенія земли около оси.

---

[5]) См. „Очеркъ основ. понятій I, 1.

Остановимся на послѣдней гипотезѣ. Если продолжительность звѣздныхъ сутокъ непрерывно увеличивается съ теченіемъ времени, то нашъ счетъ времени, зависящій отъ звѣздныхъ сутокъ, будетъ постоянно итти слишкомъ медленно. Поэтому, окажется, что луна движется быстрѣе, тогда какъ на самомъ дѣлѣ только земля движется медленнѣе.

Вообще, неравномѣрность вращенія земли разрушаетъ всѣ наши вычисленія, потому что въ основу ихъ мы кладемъ неизмѣнную единицу времени — звѣздныя сутки, которыя на самомъ дѣлѣ могутъ быть величиной перемѣнною.

Трое ученыхъ Делоне, Адамсъ и Кэйли (Delaunay, Adams, Cayley) доказали, что теорія Ньютона въ рукахъ самого Лапласа могла объяснить только половину величины вѣкового ускоренія движенія луны. Современный нашъ американскій астрономъ Симонъ Ньюкомбъ (Simon Newcomb) первый пытался объяснить вѣковое ускореніе луны постепеннымъ замедленіемъ вращенія земли, но неудачно. Поэтому до сихъ поръ мы еще не въ силахъ отвѣтить на вопросы:

..... Qua causa argentea Phoebe
Passibus haud aequis graditur; cur subdita nulli
Hactenus astronomo numerorum frena recusat [6]).

вопросы, рѣшенія которыхъ Галлей ожидалъ отъ Ньютоновыхъ „Началъ“.

Такимъ образомъ, луна не подходитъ для опредѣленія неравномѣрности вращенія земли. Для послѣдней цѣли германскій ученый Дейхмюллеръ (Deichmüller) предложилъ недавно наблюдать планетныхъ спутниковъ, потому что особенности вращенія земли должны одинаковымъ образомъ отразиться на оборотахъ всѣхъ двадцати спутниковъ. Слѣдовательно, можно будетъ отдѣлить вліяніе измѣненія длины сутокъ отъ неправильностей движенія, свойственныхъ каждому спутнику въ отдѣльности.

Измѣненіе положенія земной оси по отношенію къ фигурѣ земли.

4. Точно такъ же, какъ перемѣщенія массъ земли на ея поверхности или внутри нея вліяютъ на продолжительность ея вращенія, они должны производить слабыя измѣненія въ положеніи земной оси внутри земного шара.

Для того, чтобы ось вращенія была неподвижна внутри тѣла, необходимы нѣкоторыя условія относительно ея положенія и трехъ

---

[6]) По какой причинѣ серебряная Феба идетъ неровными шагами; почему, не подчинившись до сихъ поръ ни одному астроному, отвергаетъ узы чиселъ.

главныхъ осей инерціи. Такъ называются прямыя, проходящія чрезъ центръ тяжести тѣла, при чемъ сумма моментовъ инерціи, т. е. сумма произведеній массы каждой частицы тѣла (матеріальной точки) на квадратъ кратчайшаго разстоянія до первой изъ этихъ прямыхъ— наибольшая; для второй прямой, перпендикулярной къ первой, сумма моментовъ инерціи — наименьшая; третья прямая перпендикулярна къ плоскости первыхъ двухъ.

Ось вращенія устойчива тогда и только тогда, если она совпадаетъ съ первою или со второю изъ главныхъ осей инерціи. Слѣдовательно, земная ось совмѣщается съ осью наибольшаго или наименьшаго момента инерціи, потому что перемѣщенія полюсовъ оси вращенія земли по ея поверхности, какъ мы знаемъ изъ наблюденій, крайне малы. Значитъ, земная ось достаточно устойчива. Такъ какъ земля сжата у полюсовъ, то земная ось совпадаетъ какъ разъ съ осью наибольшаго момента инерціи.

Возмущенія, дѣйствующія на положеніе земной оси, бываютъ внѣшнія и внутреннія. Внѣшнія происходятъ отъ притяженій массъ, находящихся внѣ земли, какъ-то: солнца, луны и планетъ. Они измѣняютъ только положеніе земной оси въ пространствѣ относительно неподвижныхъ звѣздъ и извѣстны подъ именемъ прецессіи и нутаціи [7]). Внутреннія возмущенія происходятъ отъ геологическихъ причинъ и производятъ перемѣщеніе полюсовъ на земной поверхности. Вслѣдствіе внутреннихъ возмущеній, ось вращенія земли не будетъ совпадать съ осью наибольшаго момента инерціи, а опишетъ около нея коническую поверхность въ теченіе 10 мѣсяцевъ или, точнѣе, 306 дней, какъ показалъ Эйлеръ (Euler). Потому этотъ періодъ называется Эйлеровымъ.

Перемѣщеніе полюсовъ оси вращенія на поверхности земли сказывается въ измѣненіи широтъ нашихъ обсерваторій. „Если, напр., говоритъ американскій астрономъ Юнгъ (Young): „полюсъ перемѣщается на сотню футовъ къ Европѣ, то широты европейскихъ обсерваторій увеличатся почти на секунду, тогда какъ въ Азіи и Америкѣ измѣненія широтъ будутъ очень слабы".

На практикѣ возможность перемѣщенія полюсовъ подтвердилъ астрономъ Пулковской обсерваторіи Нюренъ (Nurén), сравнивая опредѣленія широты Пулкова, сдѣланныя на большомъ вертикальномъ кругѣ [8]) въ теченіе 35 лѣтъ. Изъ этого ряда наблюденій, отлича-

---

[7]) См. „Скорость свѣта" II, **39**.

[8]) См. „Астр. инстр." II, **40**.

ющихся высокою точностью, выходитъ, что широта Пулкова уменьшилась почти на одну секунду въ столѣтіе, какъ будто сѣверный полюсъ удаляется отъ Пулкова почти на 30 сантиметровъ въ годъ.

Въ настоящее время слѣдуетъ считать установленнымъ, что ось вращенія земли движется около оси наибольшаго момента инерціи съ запада на востокъ. Движеніе это, правда, весьма незначительно, такъ что кругъ около 20 метровъ въ діаметрѣ заключаетъ всѣ измѣненія положенія полюса. Главная трудность состоитъ въ томъ, принимать ли землю за твердое тѣло, моменты инерціи котораго не измѣняются, или принимать землю за тѣло отчасти жидкое. Эйлеръ получилъ свой періодъ колебанія земной оси, предполагая, что земля есть тѣло твердое. Чендлеръ (Chandler) въ Америкѣ показалъ, что широта каждой точки земли подвержена двоякому колебанію: періодъ одного — годъ, періодъ другого составляетъ 427 дней.

Можетъ ли законъ Ньютона объяснить всѣ астрономическія явленія.

5. Конечная цѣль теоретической астрономіи составляетъ рѣшеніе великаго вопроса познанія: *можетъ ли законъ Ньютона объяснить всѣ астрономическія явленія?* Для рѣшенія поставленнаго нами вопроса необходимо производить самыя тщательныя наблюденія и потомъ сравнивать ихъ съ результатами вычисленій.

Старые пріемы основателей небесной механики для вычисленія *положеній небесныхъ тѣлъ на много лѣтъ впередъ* состоятъ въ томъ, что координаты [9]) свѣтилъ разлагаютъ въ ряды по степенямъ массъ. Невыгода такого разложенія заключается въ томъ, что мы получаемъ такъ называемые вѣковые члены, т.-е. пропорціональные времени.

Вѣковые члены при достаточно большомъ промежуткѣ времени могутъ сдѣлаться весьма большими, стало-быть, и члены ряда, сумма котораго представляетъ координату свѣтила, будутъ все возрастать и возрастать. Тогда самый рядъ можетъ стать расходящимся.

Новые же способы стремятся избѣжать этихъ вѣковыхъ членовъ. Мы не можемъ подробнѣе останавливаться на этомъ предметѣ, потому что онъ выходитъ за предѣлы элементарнаго изложенія.

Таблицы движеній луны и планетъ.

6. Меридіанныя наблюденія луны и планетъ, т.-е. наблюденія, производимыя въ моментъ прохожденія ихъ чрезъ меридіанъ наблюдателя, не вполнѣ согласны съ существующими таблицами движеній этихъ свѣтилъ. При этомъ эти небольшія разности постоянно увеличиваются съ теченіемъ времени. Конечно, для текущихъ нуждъ

---

[9]) См. „Астр. инстр.“ II, 40.

астрономіи таблицы планетъ обладаютъ совершенно достаточною точностью, такъ что мы въ состояніи предвычислить на много лѣтъ впередъ затменія солнца и луны, положенія планетъ и т. п. Но, если мы возьмемъ большой промежутокъ времени, напримѣръ, нѣсколько столѣтій, тогда все возрастающее несогласіе между теоріею и наблюденіями станетъ неутѣшительнымъ.

Таблицы планетъ служатъ для того, чтобы съ помощью небольшой выкладки можно было получить положеніе планеты на сферѣ небесной. Онѣ построены въ томъ предположеніи, что взаимныя притяженія небесныхъ тѣлъ слѣдуютъ закону Ньютона и составляютъ единственную причину, измѣняющую движенія свѣтилъ. Въ настоящее время лучшими таблицами признаются таблицы французскаго астронома Леверрье. Онѣ составляютъ 14 томовъ in quarto Лѣтописей Парижской обсерваторіи; первый томъ вышелъ въ 1855 году, послѣдній въ 1877 году. Нынѣ Ньюкомбъ задался цѣлью составить новыя, болѣе совершенныя по точности и удобству пользованія, таблицы движенія планетъ. До сихъ поръ онъ обработалъ орбиты земли, Меркурія, Венеры и Марса. Число наблюденій, которыми онъ воспользовался, доходитъ до 62030; у Леверрье же всѣхъ наблюденій было только 10893. Одно это обстоятельство достаточно краснорѣчиво говоритъ намъ о грандіозномъ трудѣ американскаго ученаго.

7. Съ того времени, какъ астрономы стали примѣнять начала всемірнаго тяготѣнія къ объясненію наблюдаемыхъ неправильностей въ движеніи луны и планетъ, прошло болѣе двухъ вѣковъ. Въ этотъ долгій періодъ времени наука обогатилась многими блестящими открытіями. Однако, существуютъ, правда незначительныя по величинѣ, но все-таки весьма важныя разногласія между теоріею и наблюденіемъ. Эти уклоненія заставляютъ даже сомнѣваться въ правильности той формулы закона всемірнаго тяготѣнія, которую далъ самъ Ньютонъ. Въ настоящее время два неравенства настоятельно требуютъ объясненія: вѣковое ускореніе движенія луны, другое относится къ движенію Меркурія. Объ ускореніи луны мы уже говорили выше; остановимся теперь на движеніи Меркурія. **Правильность формулы Ньютона.**

Уже Леверрье замѣтилъ значительное уклоненіе отъ теоріи у ближайшей къ солнцу планеты Меркурія: перигелій его орбиты имѣетъ движеніе болѣе быстрое, чѣмъ то, какое выходитъ изъ дѣйствія извѣстныхъ планетъ. Иными словами, вѣковое измѣненіе (т. е. измѣненіе въ теченіе 100 юліанскихъ лѣтъ или 36525 дней, происходящее отъ возмущающаго дѣйствія остальныхъ планетъ)

долготы перигелія Меркурія, получаемое изъ наблюденій, отличается отъ теоретическаго на 38″.

Если эти уклоненія происходятъ не отъ неточныхъ значеній массъ свѣтилъ, то они могутъ быть объяснены двумя гипотезами. Первая гипотеза относится къ закону Ньютона. Какъ извѣстно, сила притяженія между двумя массами m и m', помѣщенными на разстояніи r, равняется $\frac{mm'}{r^2}$. Законъ всемірнаго тяготѣнія является нынѣ закономъ природы, но точно ли Ньютоново изящное выраженіе? Если, слѣдуя американскому ученому Асафу Холлю (Assaph Hall), вмѣсто показателя 2 подставить 2,000000162, то это измѣненіе совершенно достаточно для объясненія уклоненія въ движеніи перигелія Меркурія. Къ этой гипотезѣ Холля примыкаетъ Ньюкомбъ. Итакъ, Холль предлагаетъ увеличить показатель r въ формулѣ Ньютона, чтобы примирить теорію съ наблюденіемъ.

Кромѣ подобнаго измѣненія, въ выраженіи Ньютонова закона тяготѣнія были сдѣланы попытки приложить электродинамическіе законы. Существенное ихъ свойство состоитъ въ гипотезѣ, что притяженіе распространяется не мгновенно, а съ нѣкоторою конечною скоростью. Такъ, Цёлльнеръ (Zöllner) примѣнилъ къ астрономіи электродинамическій законъ Вебера (Weber). Въ этомъ случаѣ мы получаемъ вмѣсто Ньютоновой формулы слѣдующее выраженіе:

$$\frac{fm\mu}{r^2}\left[1-\frac{1}{c^2}\left(\frac{dr}{dt}\right)^2+\frac{2}{c^2}r\frac{d^2r}{dt^2}\right].$$

Въ этой формулѣ $\frac{dr}{dt}$ и $\frac{d^2r}{dt^2}$ суть скорость и ускореніе планеты по направленію радіуса-вектора, μ—сумма массъ планеты и солнца, m —масса планеты, f — постоянный коэффиціентъ, зависящій отъ выбора единицъ массы, длины и времени, c — скорость, съ которою притяженіе распространяется въ пространствѣ. Изъ этой формулы мы видимъ, что формула Цёлльнера отличается отъ формулы Ньютона малыми дополнительными членами, зависящими отъ квадрата скорости и отъ ускоренія по направленію радіуса-вектора. Если въ этой формулѣ принять скорость притяженія равною скорости свѣта, т. е. 300000 километровъ, то получимъ для возмущенія долготы перигелія Меркурія величину 14″,52. Можно опредѣлить величину c такимъ образомъ, чтобы вѣковое движеніе перигелія Меркурія вышло какъ разъ 38″. Тогда получается c около

180000 километровъ. Ни законъ Вебера, ни аналогичные законы Гаусса, Римана и Клаузіуса (Gauss, Riemann, Clausius) не могутъ дать удовлетворительнаго рѣшенія въ интересующемъ насъ вопросѣ.

Точно также несостоятельна другая гипотеза, а именно возмущающее дѣйствіе неизвѣстныхъ массъ, какъ-то: сжатіе солнца, интрамеркуріальныя планеты, т. е. находящіяся между солнцемъ и Меркуріемъ, кольцо малыхъ планетъ между орбитами Меркурія и Венеры.

Разрѣшеніе этихъ вопросовъ теоретической астрономіи мы должны предоставить будущему.

Прочность солнечной системы.

8. Перейдемъ теперь къ вопросу объ устойчивости солнечной системы. Подъ устойчивою системой мы разумѣемъ такую, въ которой разстоянія между каждыми двумя точками всегда остаются конечными, т. е. не обращаются ни въ нуль (ударъ), ни въ безконечность. Вопросъ этотъ имѣетъ громадную важность для органической жизни на землѣ, и математически его надо высказать слѣдующимъ образомъ: измѣняются ли орбиты планетъ вслѣдствіе ихъ взаимныхъ вліяній только внутри извѣстныхъ тѣсныхъ предѣловъ. Въ настоящее время мы не можемъ положительно отвѣтить на этотъ вопросъ. Всѣ усилія астрономовъ, начиная съ Лапласа и Лагранжа (Lagrange) и кончая Тиссераномъ (Tisserand) и Гюльденомъ (Gyldén), привели только къ болѣе или менѣе приближеннымъ доказательствамъ.

Можно показать въ частныхъ случаяхъ, что элементы планетной орбиты безчисленное число разъ возвращаются къ своимъ первоначальнымъ значеніямъ. Это справедливо по всей вѣроятности. не только въ частности, но и вообще. Но мы не можемъ доказать и, вѣроятно, вообще нельзя доказать, что элементы орбиты не будутъ значительно отличаться отъ своихъ первоначальныхъ значеній.

„Мы не можемъ сказать“, — говоритъ мюнхенскій астрономъ Зелигеръ (Seeliger), — „будетъ ли наша земля всегда двигаться вокругъ солнца близъ тѣхъ частей небеснаго пространства, которыя она проходитъ въ настоящее время, или со временемъ она далеко отойдетъ отъ нихъ“.

И этотъ вопросъ представляется въ настоящее время открытымъ. На этомъ мы закончимъ настоящій очеркъ современныхъ задачъ теоретической астрономіи; очеркъ вышелъ бѣглымъ и неполнымъ. Да послужатъ намъ оправданіемъ слова поэта:

Io non posso ritrar di tutti appieno,
Perocchè si mi caccia il lungo tema,
Che molte volte al fatto il dir vien meno [10]).

Л. Малисъ.

Библіографія.

1. *Tisserand, F.* Sur les perturbations (Leçons de Cosmographie par MM. F. Tisserand et H. Andoyer. Paris. 1895, стр. 267—289).

2. *Tisserand, F.* Sur la Lune et son accéleration séculaire (Ibidem, стр. 320—337).

3. *Ginzel, F.* Die Frage der Polschwankungen. („Himmel und Erde", Jahrgang VIII. Berlin. 1896, стр. 297—315).

4. *Покровскій, К. Д.* Попытки измѣненія формулы Ньютона для закона всеобщаго тяготѣнія. („Извѣстія Русского Астрономическаго Общества", выпускъ VI, № 3, стр. 117—130. Спб. 1897).

5. *Seliger, H.* Ueber allgemeine Probleme der Mechanik des Himmels. Rede. München. 1892.

6. *Poincaré, H.* Sur la stabilité du système solaire. (Annuaire pour l'an 1898, publié par le Bureau des Longitudes, стр. B. 1—16. Paris, 1898).

---

10) Я не могу ихъ всѣхъ здѣсь описать вполнѣ,
Потому что меня такъ тѣснитъ обширная тема,
Что слово часто отстаетъ отъ дѣла.

Данте, Божественная Комедія. Адъ, 4 пѣснь, стихи 145—147.

43. Астрофотометрія.

1. Фотометрія въ примѣненіи къ астрономіи имѣетъ задачею опредѣленіе *напряженности* свѣта небесныхъ тѣлъ (которую, хотя и не совсѣмъ правильно, принято у насъ называть ихъ блескомъ или яркостью) и изслѣдованіе постоянства этой напряженности, или же изученіе законовъ ея измѣняемости.

Прошлое астрофотометріи.

Первые зачатки астрофотометріи составляли уже часть древнѣйшихъ астрономическихъ познаній: начало классификаціи звѣздъ по величинамъ, которую мы встрѣчаемъ уже какъ стройную систему въ каталогѣ Гиппарха и которой астрономы продолжаютъ придерживаться до нашего времени, теряется въ глубокой древности. Но научная, теоретическая фотометрія получила свое основаніе въ половинѣ XVIII столѣтія въ классическихъ сочиненіяхъ Бугера (Bouguer, „Traité d'optique sur la gradation de la lumière" и Ламберта (Lambert, „Photometria"), появившихся въ 1760 году. Однако, систематическое примѣненіе точныхъ фотометрическихъ способовъ къ изслѣдованію звѣзднаго неба, за неимѣніемъ вполнѣ пригодныхъ для этой цѣли инструментовъ, началось не ранѣе второй половины текущаго столѣтія.

Фотометрическія изслѣдованія простымъ глазомъ.

2. Первымъ крупнымъ шагомъ въ этомъ направленіи можно считать способъ, который начали примѣнять оба Гершеля и Аргеландеръ: В. Гершель (William или собств. Fridrich Wilhelm Herschel, 1738—1822) для сѣвернаго, Дж. Гершель (John Herschel, 1729—1871) для южнаго неба, а Аргеландеръ (F. Argelander, 1799—1875) при многочисленныхъ своихъ наблюденіяхъ перемѣнныхъ звѣздъ и при составленіи классическаго перваго каталога величинъ звѣздъ, видимыхъ простымъ глазомъ (Uranometria nova, Berolini, 1848). Этотъ прекрасный способъ сравнительной оцѣнки степеней яркости

звѣздъ безъ всякихъ инструментовъ, только глазомъ, сослужившій большую службу наукѣ, накопивъ богатый и притомъ единственный до послѣдняго времени наблюдательный матеріалъ для всѣхъ изслѣдованій о перемѣнныхъ звѣздахъ, и не уступающій въ опытныхъ рукахъ по точности лучшимъ фотометрическимъ приборамъ, недавно подробно изложенъ на русскомъ языкѣ С. П. Глазенапомъ въ I выпускѣ „Извѣстій Русскаго Астрономическаго Общества“ (1892); а потому мы считаемъ умѣстнымъ не останавливаться долѣе на этомъ способѣ.

Фотометръ Штейнгеля.

3. Первый точный астрономическій фотометръ, которымъ дѣйствительно произведены систематическія наблюденія, послужившія наукѣ, предложенъ былъ въ 1836 г. Штейнгейлемъ (Steinheil) и описанъ въ его капитальномъ трудѣ „Elemente der Helligkeitsmessungen am Sternenhimmel“. Фотометръ Штейнгейля состоитъ изъ небольшой трубы съ двумя объективами, которые даютъ вблизи общаго фокуса изображенія двухъ сравниваемыхъ свѣтилъ въ видѣ двухъ расположенныхъ рядомъ треугольниковъ различной яркости. Измѣненіемъ фокуснаго разстоянія одного изъ объективовъ мѣняется яркость одного изъ этихъ треугольниковъ до полученія полнаго равенства яркостей обоихъ. По величинѣ произведеннаго для этой цѣли передвиженія объективовъ выясняется яркость одного изъ наблюдаемыхъ свѣтилъ относительно другого. Помощью этого фотометра въ 1852—1867 годахъ Зейдель (Seidel) произвелъ весьма цѣнныя наблюденія звѣздъ и большихъ планетъ; но затѣмъ, вслѣдствіе появленія другихъ, болѣе совершенныхъ приборовъ, инструментъ этотъ болѣе не употреблялся.

Въ настоящее время для фотометрическихъ измѣреній свѣтилъ употребляются три фотометра: Цёлльнера, Пиккеринга и Притчарда. Въ первыхъ двухъ примѣняется поляризація свѣта Николевыми призмами, въ третьемъ свѣтило затемняется клиномъ изъ дымчатаго стекла.

Фотометръ Цёлльнера.

4. Старѣйшій изъ нихъ, фотометръ Цёлльнера (Zöllner), описанъ въ его книгѣ „Grundzüge einer allgemeinen Photometrie des Himmels, Berlin, 1861“. Въ немъ наблюдаемая звѣзда, видимая въ фокусѣ трубы, сравнивается съ искусственною звѣздою совершенно одинаковаго съ нею вида, образуемою пучкомъ лучей керосиновой лампы, пропущеннымъ сквозь двѣ Николевыхъ призмы и отраженнымъ въ окулярѣ, такъ что глазъ видитъ рядомъ и натуральную и искусственную звѣзды. Точнѣе говоря, искусственныхъ звѣздъ двѣ, такъ какъ стеклянная пластинка, отражающая къ окуляру лучи

лампы, даетъ два изображенія: одно—отраженное отъ передней, другое—отъ задней ея поверхности. Кромѣ того, на пути лучей лампы включены пластинка горнаго хрусталя и третья Николева призма, вращеніемъ которой можно измѣнять цвѣтъ искусственныхъ звѣздъ, такъ чтобы онѣ производили на глазъ впечатлѣніе совершенно однородное съ изображеніемъ натуральной звѣзды. При вращеніи одной изъ первыхъ двухъ Николевыхъ призмъ относительно другой, т. е. при измѣненіи угла между главными сѣченіями этихъ призмъ, какъ извѣстно изъ законовъ поляризаціи [1]), свѣтъ, проходящій чрезъ нихъ, измѣняется въ своей яркости пропорціонально квадрату синуса дополненія угла между этими сѣченіями до 90°. И наблюденіе состоитъ именно въ возможно точномъ приравниваніи, этимъ вращеніемъ Николя, яркости искусственной звѣзды къ яркости наблюдаемой звѣзды. Достигнувъ такого равенства, наблюдатель отсчитываетъ на кругѣ съ дѣленіями взаимное положеніе Николей. Дѣлая затѣмъ то же для другой натуральной звѣзды и получивъ соотвѣтственный отсчетъ круга, онъ, въ отношеніи квадратовъ синусовъ отсчитанныхъ угловъ, получаетъ прямо отношеніе яркостей двухъ наблюденныхъ звѣздъ.

Фотометръ Пиккеринга.

5. Фотометръ американскаго астронома Пиккеринга (Pickering) еще проще, состоя исключительно изъ двухъ Николевыхъ призмъ. Лампы, т. е. искусственной звѣзды, нѣтъ. Между тѣмъ, какъ у Цёлльнера примѣняется одинъ только изъ обоихъ составныхъ лучей двупреломленнаго и поляризованнаго въ Николяхъ луча, другой же отведенъ въ сторону и остается невидимъ, въ фотометрѣ Пиккеринга примѣняются оба, и обыкновенный и необыкновенный. Поэтому, при разсматриваніи фотометромъ двухъ звѣздъ, одновременно видимыхъ въ полѣ зрѣнія, каждая представляется двойною. При вращеніи одного изъ Николей одна изъ этихъ составныхъ звѣздъ каждой натуральной звѣзды усиливается, другая же уменьшается въ яркости, и вращеніе Николя продолжается до тѣхъ поръ, пока ослабѣвающая составная болѣе свѣтлой звѣзды приравняется усиливающейся составной болѣе слабой звѣзды. Изъ соотвѣтствующаго этому положенію отсчета угла между главными сѣченіями Николей весьма просто получается отношеніе яркостей обѣихъ сравниваемыхъ звѣздъ. Фотометръ Пиккеринга былъ бы безупреченъ, если бы можно было всегда видѣть одновременно въ полѣ зрѣнія трубы обѣ наблюдаемыхъ звѣзды, безъ особыхъ для того приспособле-

---

[1]) См. „Физ. т. свѣта" II, **13**, 8.

ній. Но именно эти приспособленія много осложняютъ прекрасный инструментъ весьма нежелательными и часто вводящими въ ошибки условіями.

Такимъ образомъ, какъ читатель, вѣроятно, уже замѣтилъ, во всѣхъ наиболѣе употребительныхъ астрономическихъ фотометрахъ наблюденіе сводится къ одному и тому же принципу—опредѣленію равенства яркостей двухъ свѣтлыхъ точекъ, или же двухъ свѣтлыхъ поверхностей. Этотъ критерій теперь, кажется, уже единогласно признается наиболѣе точнымъ. И дѣйствительно, какъ показываютъ новѣйшія физіологическія изслѣдованія, человѣческій глазъ при благопріятныхъ обстоятельствахъ можетъ производить подобныя оцѣнки равенства съ точностью до $\frac{1}{186}$ части сравниваемаго свѣта.

Фотометръ Притчарда. 6. Третій изъ употребительныхъ астрономическихъ фотометровъ, фотометръ Притчарда (Pritchard) основанъ на другомъ принципѣ. Имъ наблюдается не равенство двухъ яркостей, а предѣлъ видимости звѣзды, т. е. та яркость, при ослабленіи до которой звѣзда становится уже невидимою для глаза. Такъ какъ предѣлъ этотъ не только весьма различенъ для различныхъ наблюдателей, но мѣняется и для одного и того же наблюдателя съ измѣненіемъ внѣшнихъ условій, напр., со степенью усталости, то наблюденія фотометромъ Притчарда далеко не могутъ давать той же точности, какъ наблюденія фотометромъ Цёлльнера и Пиккеринга. Онъ получилъ нѣкоторое право гражданства исключительно благодаря своей простотѣ, легкости и быстротѣ примѣненія. Звѣзды ослабляются имъ до исчезновенія помощью клина изъ дымчатаго стекла. Толщина и, слѣдовательно, поглощающая свѣтъ способность клина пропорціональны разстоянію отъ вершины клина, а потому разстояніе того мѣста клина, въ которомъ звѣзда совершенно исчезаетъ, отъ вершины клина пропорціонально яркости звѣзды, и послѣдняя прямо получается отсчетомъ этого мѣста на шкалѣ. Такъ какъ весьма трудно приготовить достаточной длины клинъ такъ, чтобы свѣтопоглощающая способность составляющаго его стекла во всѣхъ частяхъ его была совершенно одинакова, то легко возможны неточности наблюденій, обусловливаемыя такою неравномѣрностью. А потому, во всякомъ случаѣ, до производства наблюденій каждый экземпляръ этого фотометра требуетъ самой тщательной провѣрки. Фотометръ Притчарда преимущественно пригоденъ для такихъ наблюденій, въ которыхъ первымъ условіемъ является быстрота измѣ-

рений, точность же получаемыхъ результатовъ представляется требованіемъ второстепеннымъ.

Другіе способы изслѣдованія

7. Много было предложено и другихъ фотометровъ для астрономическихъ цѣлей, но они не нашли себѣ научнаго примѣненія, одни по сложности, какъ, напр., спектральные фотометры, разлагающіе свѣтъ наблюдаемаго предмета на составные его цвѣта и измѣряющіе каждый цвѣтъ отдѣльно, другіе по недостаточной обоснованности своей основной мысли, какъ, напр., фотометры, измѣряющіе яркость по электропроводности нѣкоторыхъ тѣлъ, находящейся въ зависимости отъ степени освѣщенія этихъ тѣлъ измѣряемымъ источникомъ свѣта. Потому мы обходимъ эти приборы молчаніемъ. Не будемъ говорить здѣсь также о примѣненіи фотографіи для фотометрическихъ цѣлей, такъ какъ эта молодая отрасль изслѣдованія не вышла еще изъ періода подготовительныхъ изысканій, долженствующихъ выяснить способы и даже самую цѣлесообразность ея примѣненія [2]). Замѣтимъ только, что въ вопросахъ, не требующихъ наивысшей точности, фотографія и теперь уже можетъ оказывать полезныя услуги фотометріи.

Изъ вышеизложеннаго видно, что наибольшею примѣняемостью отличается и пользуется фотометръ Цёлльнера, и, безъ сомнѣнія, онъ оказалъ уже наибольшія услуги наукѣ. Существенныя улучшенія сдѣланы въ немъ московскимъ профессоромъ В. К. Церасскимъ, на двѣ книжки котораго о способахъ его примѣненія („Объ опредѣленіи блеска бѣлыхъ звѣздъ", Москва, 1882, и „Астрономическій фотометръ и его примѣненіе", Москва, 1887) можемъ указать читателямъ, желающимъ ближе познакомиться съ производствомъ фотометрическихъ работъ.

Вліяніе атмосферы.

8. Итакъ, мы видимъ, что всякое фотометрическое измѣреніе, въ сущности, сводится къ физіологическому акту зрѣнія наблюдателя, фотометрическій же приборъ только создаетъ наиблагопріятнѣйшую обстановку для этого и регистрируетъ произведенную глазомъ оцѣнку въ числовыхъ величинахъ, уже, такъ сказать, помимо наблюдателя. Поэтому точности нашихъ фотометрическихъ измѣреній самою природою положенъ предѣлъ въ свѣтоощущающей способности глаза, которая сама, впрочемъ, можетъ развиваться съ навыкомъ, опытностью и осмотрительностью наблюдателя. Но точность, достигаемая фотометрическими измѣреніями, далеко не

---

[2]) Здѣсь говорится только о примѣненіи фотографіи къ астрофотометріи, а не объ астрономической фотографіи вообще.

доходитъ до этого естественнаго предѣла. Главное препятствіе тому представляетъ атмосфера, окружающая землю, или, точнѣе говоря, безпрерывная измѣнчивость прозрачности этой атмосферы. Измѣренія той же самой яркости, произведенныя въ различные вечера, расходятся между собою много болѣе наблюденій, полученныхъ за одинъ пріемъ, и противъ этихъ расхожденій наблюдатель уже безсиленъ, хотя, конечно, осторожность и опытность могутъ уменьшить и ихъ въ значительной степени.

Кромѣ этихъ случайныхъ, непредвидимыхъ измѣненій прозрачности атмосферы, наблюдатель всегда долженъ считаться съ правильнымъ, постояннымъ и слѣдующимъ извѣстному закону измѣненіемъ прозрачности ея въ зависимости отъ высоты надъ горизонтомъ, съ такъ называемымъ поглощеніемъ свѣта въ атмосферѣ (extinction). Чѣмъ ближе свѣтило къ горизонту, тѣмъ болѣе толстый и густой слой атмосферы долженъ пройти лучи его, прежде чѣмъ достигнуть до нашего глаза, и тѣмъ менѣе яркимъ мы увидимъ, слѣдовательно, свѣтило. Законъ измѣненія этого поглощенія въ функціи высоты или же зенитнаго разстоянія свѣтила выведенъ Лапласомъ (Laplace) въ его „Небесной Механикѣ“ и до сихъ поръ вполнѣ удовлетворяетъ всѣмъ наблюденіямъ. Но числовое выраженіе его для каждой данной мѣстности должно быть выведено изъ спеціально организованныхъ для этой цѣли фотометрическихъ наблюденій. Впервые числовую таблицу поглощенія опредѣлилъ для Мюнхена Зейдель (Untersuchungen über die gegenseitigen Helligkeiten der Fixsterne erster Grösse, München, 1852). Съ тѣхъ поръ подобныя же опредѣленія произведены для Оксфорда, Каира, Кембриджа, въ Америкѣ, Потсдама, на горахъ Сентисъ и Этнѣ и въ Перу. И замѣчательно, что, несмотря на крайнюю измѣнчивость атмосферы, всѣ эти различныя опредѣленія средняго состоянія ея даютъ почти совершенно тождественныя между собою таблицы, и данныя ихъ расходятся между собою лишь для высотъ менѣе 5 или 6 градусовъ надъ горизонтомъ, на каковыхъ едва ли кто и будетъ производить фотометрическія наблюденія. Кромѣ того, всѣ эти опредѣленія довольно согласно показываютъ, что по направленію зенита, соотвѣтствующему наименьшему поглощенію, атмосфера пропускаетъ около 0,8 всего количества свѣтовыхъ лучей, достигающихъ до нея отъ свѣтила.

Относительная яркость звѣздъ различныхъ величинъ.

9. Переходя отъ даннаго выше краткаго описанія астрофотометрическихъ инструментовъ къ обзору результатовъ, полученныхъ при измѣреніи этими инструментами яркостей небесныхъ свѣтилъ, начинаемъ этотъ обзоръ съ неподвижныхъ звѣздъ, по безконечному числу своему представляющихъ главную задачу астрофотометріи. Каталогизація звѣздъ на основаніи точныхъ фотометрическихъ измѣреній, даже если ограничиться звѣздами отъ 1-й до 9-й величины, представляется осуществимою далеко не въ близкомъ будущемъ. Въ видѣ суррогата таковой астрономы пользуются въ настоящее время величинами 460000 звѣздъ сѣвернаго неба отъ 1-й до 9,5-й величины, данными въ классическомъ каталогѣ „Bonner Sternverzeichniss", составленномъ Аргеландеромъ и его учениками Шёнфельдомъ (Schönfeld) и Крюгеромъ (Krüger) 35 лѣтъ тому назадъ, и опредѣленными оцѣнками на глазъ по вышеупомянутому способу Аргеландера. Поэтому ближайшею потребностью фотометріи являлось точное опредѣленіе числовыхъ соотношеній между послѣдовательными величинами Боннскаго каталога, а вмѣстѣ съ тѣмъ, — такъ какъ установленіе звѣздныхъ величинъ есть дѣло произвольное, — опредѣленіе звѣздныхъ величинъ послѣдовательныхъ порядковъ вообще. Попытки такихъ опредѣленій дѣлались неоднократно; но первое систематическое опредѣленіе, основанное на измѣреніи фотометромъ Цёлльнера достаточно большого числа звѣздъ всѣхъ величинъ отъ 2-й до 10-й, предпринято было въ нашей Пулковской обсерваторіи въ 1870 и окончено [3]) въ 1889 году (Photometrische Bestimmung der Grössenclassen der Bonner Durchmusterung; Supplément II aux Observations de Poulkow, 1889). Опредѣленіе это показало, что величина звѣзднаго класса, т. е. отношеніе средней яркости звѣздъ извѣстной величины къ средней яркости звѣздъ сосѣдней слабѣйшей величины (1-й величины ко 2-й, 2-й — къ 3-й, ... 8-й — къ 9-й), не постоянна, а постепенно увеличивается съ уменьшеніемъ яркости звѣздъ, какъ видно изъ слѣдующихъ результатовъ Пулковскаго опредѣленія:

звѣзды 3-й велич. ярче звѣздъ 4-й велич. „ 4-й „ „ „ 5-й „ „ 5-й „ „ „ 6-й „	въ 2,0 раза
звѣзды 6-й велич. ярче звѣздъ 7-й велич. „ 7-й „ „ „ 8-й „	въ 2,5 раза
звѣзды 8-й велич. ярче звѣздъ 9-й велич.	въ 2,7 раза.

[3]) Э. Линдеманомъ, авторомъ настоящей статьи, умершимъ въ 1897 г. *Ред.*

Въ среднемъ, каждая звѣздная величина (принимая въ разсчетъ поправки, соотвѣтствующія точности результатовъ) ярче сосѣдней слабѣйшей въ 2,5 раза. Логарифмъ этого отношенія, равный круглымъ числомъ 0,400, представляетъ общепринятый въ настоящее время, такъ называемый, Погсоновскій коэффиціентъ звѣздныхъ величинъ, названный такъ по имени англійскаго астронома Погсона (Pogson), съ прежнимъ опредѣленіемъ котораго новое, болѣе точное опредѣленіе, случайно совпадаетъ.

Яркость звѣздъ перваго класса.

10. Для звѣздъ первыхъ двухъ классовъ, вслѣдствіе малочисленности ихъ, коэффиціентъ опредѣленъ далеко не съ тою же точностью. При томъ тѣ 14 звѣздъ сѣвернаго неба, которыя издавна причисляются къ первому классу, такъ различны по своей яркости, что классъ этотъ, придерживаясь коэффиціента Погсона, слѣдовало бы раздѣлить на три отдѣльныхъ класса. Это видно изъ нижеслѣдующаго сопоставленія величинъ звѣздъ 1-го класса по опредѣленіямъ Пиккеринга. Мы обозначаемъ въ этомъ сопоставленіи тѣ величины, которыя въ 2,5 раза ярче величины 1,0, чрезъ 0,0, а тѣ, которыя въ 2,5 раза ярче величины 0,0 чрезъ —1,0:

α Большого Пса (Сиріусъ)	—1,4	вел.
α Волопаса (Арктуръ)	0,0	„
α Лиры (Вега)	0,2	„
α Возничаго (Капелла)	0,2	„
β Оріона (Ригель)	0,3	„
α Малаго Пса (Проціонъ)	0,5	„
α Оріона (Бетейгейзе)	0,9	„
α Тельца (Альдебаранъ)	1,0	„
α Орла (Альтаиръ)	1,0	„
β Близнецовъ (Поллуксъ)	1,1	„
α Дѣвы (Спика)	1,2	„
α Большого Льва (Регулъ)	1,4	„
α Лебедя (Денебъ)	1,5	„
α Близнецовъ (Касторъ)	1,6	„

Современныя работы по астрофотометріи.

11. Вообще по опредѣленію яркостей звѣздъ сдѣлано уже немало, хотя, въ сравненіи съ общимъ числомъ звѣздъ, сдѣланное можно считать только еще началомъ предстоящаго труда. Не считая меньшихъ фотометрическихъ работъ, какъ-то: небольшихъ каталоговъ Зейделя и Цёлльнера, опредѣленій величинъ звѣздъ въ звѣздныхъ кучахъ Плеядъ и *h* Персея (въ Пулковѣ), χ Персея и въ Воло-

сахъ Вероники (въ Москвѣ), списка звѣздъ сравненія для наблюденій перемѣнныхъ звѣздъ Шарльс (Charlier), образцоваго по точности каталога околополярныхъ звѣздъ Церасскаго и проч., мы имѣемъ въ настоящее время четыре большіе каталога фотометрическихъ величинъ, почти удовлетворяющіе по точности современнымъ требованіямъ фотометріи. Это — каталогъ звѣздъ, видимыхъ простымъ глазомъ, Притчарда (Uranometria nova Oxoniensis, Oxford, 1885) и три каталога въ Анналахъ Кембриджской обсерваторіи въ Сѣверной Америкѣ: одинъ — 4260 звѣздъ до 6-й величины (томъ XIV), другой — 20982 звѣзды, выбранныхъ систематически на всемъ сѣверномъ небѣ для того, чтобы служить исходными точками для сравненій другихъ звѣздъ (томъ XXIV), и третій — 7922 звѣзды южнаго неба (томъ XXXIV). Всѣ эти каталоги превосходитъ значительно по точности предпринятое нѣсколько лѣтъ назадъ на Потсдамской астрофизической обсерваторіи опредѣленіе всѣхъ звѣздъ до 7-й величины. Первый изъ четырехъ томовъ этого труда недавно вышелъ изъ печати (Photometrische Durchmusterung des nördlichen Himmels, T. I, Potsdam, 1894), а по выходѣ остальныхъ этотъ каталогъ отмѣтитъ важную эпоху въ фотометріи и составитъ необходимѣйшую справочную книгу каждаго фотометриста.

Во всѣхъ этихъ каталогахъ яркости или величины звѣздъ приведены, съ помощью таблицъ поглощенія, къ зениту.

Значительныя услуги фотометрическія наблюденія оказали изученію законовъ измѣненія нѣкоторыхъ перемѣнныхъ звѣздъ и новыхъ звѣздъ послѣдняго времени, въ особенности звѣзды, вспыхнувшей въ 1892 году въ созвѣздіи Возничаго.

Яркость солнца.

12. Переходя къ нашей солнечной системѣ, приводимъ для солнца и луны результаты фотометрическихъ наблюденій Цёлльнера.

Солнце въ 55760000000 разъ ярче Капеллы, которая, какъ мы выше видѣли, почти на величину ярче звѣздъ перваго класса. Такая громадная разница въ яркости обусловливается единственно близкимъ разстояніемъ отъ насъ солнца въ сравненіи съ разстояніями звѣздъ. На одинаковомъ же разстояніи солнце представлялось бы намъ звѣздой, приблизительно на двѣ величины слабѣйшею, чѣмъ Капелла.

По отношенію къ пятнамъ и выступамъ солнца не имѣется точныхъ фотометрическихъ данныхъ. Солнечная корона, по сравнительной слабости своего свѣта видимая намъ только во время полныхъ солнечныхъ затменій, на дѣлѣ обладаетъ свѣтомъ, равнымъ свѣту отъ одной до 15 полныхъ лунъ. Насколько такая значи-

тельная разность результатовъ является слѣдствіемъ неточности наблюденій, вслѣдствіе трудности и неизбѣжной спѣшности работы, и на сколько свѣтъ короны дѣйствительно мѣняется въ силѣ,— остается открытымъ вопросомъ. Но безъ сомнѣнія, тутъ вліяютъ обѣ эти причины, такъ какъ объ измѣнчивости коронального свѣта слѣдуетъ заключить по самой періодичности размѣровъ короны и по замѣченной связи лучей короны съ выступами солнца.

Яркость луны.

13. Свѣтъ полной луны въ 618800 разъ слабѣе свѣта солнца. Такъ называемое альбедо луны, т.-е. отношеніе количества свѣта, отражаемаго луною, ко всему количеству свѣта, получаемаго ею отъ солнца, равно 0,17 т.-е. приблизительно равно отражательной способности глинистаго мергеля, равной 0,16. Но дѣлать дальнѣйшія заключенія на основаніи подобнаго совпаденія было бы весьма рискованно, такъ какъ альбедо зависитъ не только отъ химическаго, но и отъ топографическаго строенія отражающей поверхности.

Цёлльнеромъ даны вычисленныя теоретически таблицы для опредѣленія количества свѣта луны въ различныхъ ея фазахъ въ процентахъ количества свѣта полнолунія, которыя вполнѣ достаточно представляютъ фотометрическія наблюденія. Поэтому болѣе строгія формулы, данныя позднѣе для той же цѣли Зелигеромъ (Seeliger), на практикѣ не представляютъ преимуществъ предъ Цёлльнеровскими.

Яркость планетъ.

14. Для планетъ мы имѣемъ многочисленныя, прекрасныя фотометрическія наблюденія потсдамскаго астронома Мюллера (Müller), которыя даютъ для нихъ слѣдующія наибольшія и наименьшія звѣздныя величины, смотря по разстоянію ихъ отъ земли и отъ солнца:

	Наибольшая величина.	Наименьшая величина.
Меркурій	—1,1	1,1
Венера	—4,5	—3,0
Марсъ	—2,7	1,7
Юпитеръ	—2,7	—1,5
Сатурнъ	—0,4	1,0
Уранъ	5,4	6,0
Нептунъ	7,4	7,8

Отсюда видно, что Венера и Юпитеръ всегда остаются свѣтлѣе всѣхъ неподвижныхъ звѣздъ; Меркурій и Сатурнъ принадлежатъ къ первому классу звѣздъ, въ обширномъ общепринятомъ смыслѣ; Марсъ можетъ уменьшиться для насъ до звѣзды 2-й величины;

Уранъ постоянно остается видимъ невооруженнымъ глазомъ; Нептунъ же, мѣняясь по отношенію къ землѣ весьма мало, представляется звѣздою почти 8-й величины.

Для малыхъ планетъ между Марсомъ и Юпитеромъ имѣются весьма согласные между собою ряды фотометрическихъ наблюденій того же Мюллера и американскаго астронома Паркгурста (Parkhurst), приводящіе къ весьма интересной классификаціи этихъ свѣтилъ. Говорить здѣсь, однако, о нихъ подробнѣе увлекло бы насъ за предѣлы настоящаго очерка, имѣющаго лишь цѣлью намѣтить путь лицамъ, которыя сами пожелали бы заняться астрофотометріей.

Яркость спутниковъ.

15. Что касается спутниковъ планетъ, то спутники Юпитера измѣрялись различными наблюдателями, въ особенности Энгельманомъ (Engelmann) и Пиккерингомъ, спутниковъ же остальныхъ планетъ измѣрялъ одинъ Пиккерингъ. Приводимъ величины спутниковъ Юпитера по обоимъ авторамъ; кстати же согласіе между ними представитъ наглядный примѣръ того, что можетъ считаться хорошими наблюденіями въ фотометріи. Для прочихъ даемъ величины Пиккеринга:

Спутники Юпитера.

	По Энгельману.	По Пиккерингу.
Спутникъ I.	5,5	5,6
Спутникъ II. . . .	5,7	5,7
Спутникъ III. . . .	5,3	5,2
Спутникъ IV. . . .	6,3	6,4

По наблюденіямъ Энгельмана, спутникъ IV мѣняется въ яркости. Спутникъ V, недавно открытый и видимый лишь въ величайшія трубы, никѣмъ еще фотометромъ не наблюдался.

Спутники Сатурна.

Титанъ.	9,4	Яфетъ.	11,8
Рея	10,8	Энцеладъ.	12,3
Тетисъ.	11,4	Мимасъ	12,8
Діона.	11,5	Гиперіонъ	13,3

Яфетъ мѣняется въ яркости.

Спутники Марса.

Деймосъ	12,6	Фобосъ.	12,3

Спутники Урана.

Титанія . . . . . 14,2 Оберонъ. 14,4

Спутникъ Нептуна. . . . 13,8.

Э. Линдеманъ.

Библіографія.

Самымъ полнымъ руководствомъ по астрофотометріи въ настоящее время является сочиненіе потсдамскаго астрофизика Мюллера: *G. Müller*, Die Photometrie der Gestirne, Leipzig, 1897.

---

44. Форма и размѣры земли.

1. Доказательство шарообразной формы земли есть первая и важнѣйшая ступень въ развитіи астрономическихъ знаній. Конечно, не имѣя правильнаго понятія о формѣ земли, нельзя судить о ея размѣрахъ, о ея движеніи въ пространствѣ, о природѣ другихъ небесныхъ свѣтилъ, о роли земли среди системы міровъ и, наконецъ, о строеніи вселенной. Составляя, такимъ образомъ, краеугольный камень астрономіи, это открытіе имѣетъ, вмѣстѣ съ тѣмъ, большое значеніе и въ исторіи развитія человѣческой мысли вообще. Здѣсь умъ человѣка впервые отрѣшился отъ явнаго свидѣтельства чувствъ, началъ критически относиться къ окружающимъ явленіямъ и вступилъ на путь научнаго изслѣдованія. Ясно представить себѣ, что верхъ и низъ суть только условныя и относительныя понятія, что земля, которая кажется намъ плоскостью, укрѣпленною на какомъ то точномъ и неизмѣнномъ основаніи, на самомъ дѣлѣ есть шаръ, не имѣющій никакихъ опоръ и свободно носящійся въ пространствѣ, что море, — эта, повидимому, идеально плоская равнина, — на самомъ дѣлѣ выпукло, что на противоположномъ полушаріи есть люди, обращенные къ намъ подошвами, есть деревья, обращенныя къ намъ корнями,—и, однако, люди не ходятъ тамъ „вверхъ ногами“ и деревья не „висятъ внизъ“,—все это великія побѣды человѣческой мысли въ дѣлѣ изслѣдованія истины. Какъ ни просты и очевидны кажутся намъ сейчасъ эти положенія, однако, въ свое время, на зарѣ науки, не безъ труда отвергнулъ человѣкъ непосредственныя показанія органовъ чувствъ. Провозвѣщенное нѣкоторыми „мудрецами“ древности, обладавшими наиболѣе пытливымъ и свободнымъ умомъ, — ученіе о шарообразности земли не сразу было принято даже развитыми людьми того времени, не говоря уже

Мнѣнія древнихъ о формѣ земли. Открытіе шарообразности земли.

о невѣжественномъ большинствѣ, — не безъ борьбы получило оно право гражданства.

При поверхностномъ наблюденіи земля представляется намъ плоскимъ кругомъ; солнце, луна и звѣзды восходятъ изъ-за восточнаго края земного диска и погружаются подъ его западный край. Такое примитивное представленіе о формѣ земли, основанное на прямомъ свидѣтельствѣ чувствъ, господствуетъ и сейчасъ у некультурныхъ народныхъ массъ. Въ древности оно было общепринято даже среди высоко-развитыхъ людей того времени. Напримѣръ, даже такіе выдающіеся умы эпохи расцвѣта греческой образованности, какъ Периклъ, Эврипидъ, Геродотъ, Фукидидъ и др. — еще раздѣляли міровоззрѣніе Гомера, который такъ описываетъ въ своихъ рапсодіяхъ землю: „Неизмѣримая земля имѣетъ видъ круглой равнины, окраины которой омываются первобытными водами океана,—тихо текущей глубокой всемірной рѣки. На одномъ островѣ, среди этой рѣки, недалеко отъ крайней границы земли на западѣ, во мглѣ и мракѣ, живутъ Киммерійцы, не пользующіеся благотворными лучами Геліоса; они живутъ близъ входа въ царство мертвыхъ, которое тянется подъ землею въ глубокой тьмѣ. На столбахъ, поддерживаемыхъ на западѣ Атласомъ, покоится, какъ мѣдный сводъ, вѣчное небо. Оно распростерло свой блистающій звѣздами куполъ надъ сушею и моремъ, а съ противоположной стороны подъ землею, ниже ада, разстилается сводъ Тартара. Среди земли возвышается могучій, усѣянный пропастями Олимпъ, на вершинѣ котораго возсѣдаютъ боги Эллады“.

Нельзя съ увѣренностью сказать, кто первый изъ греческихъ мыслителей высказалъ идею о шарообразности земли. Есть указанія, что Анаксимандръ догадывался объ этомъ, а ученикъ Пифагора Филолай не только училъ, что земля шарообразна, но что она и обращается вокругъ своей оси и вокругъ солнца. Однако, каковы были истинныя мнѣнія этихъ философовъ,—вопросъ спорный, не вполнѣ выясненный исторіей науки, за неимѣніемъ оригинальныхъ сочиненій.

Далѣе, Платонъ уже имѣлъ правильное представленіе о формѣ земли. Въ своемъ діалогѣ „Тимей“ онъ такъ разсуждаетъ о верхѣ и низѣ: „Совершенно ошибочно предполагать, что во вселенной есть двѣ противоположныя области, одна вверху, другая внизу, и что тяжелыя тѣла естественно стремятся къ этому послѣднему мѣсту. Небо имѣетъ сферическую форму и все стремится къ центру; такимъ образомъ, верхъ и низъ не имѣютъ никакого реальнаго смысла. Если въ сере-

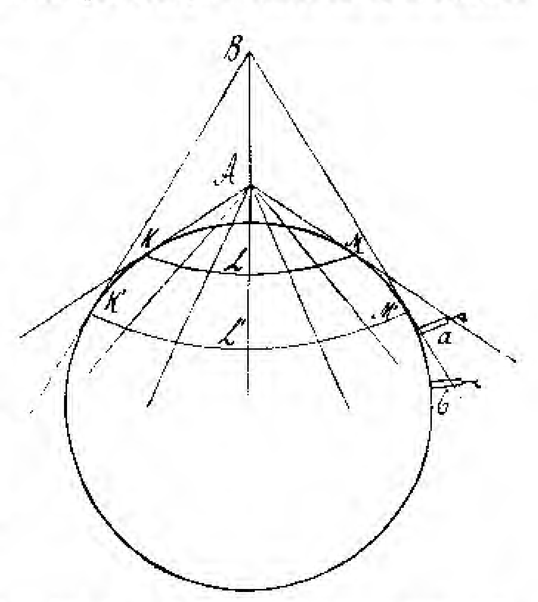
динѣ находится твердый шаръ, и если человѣкъ идетъ вокругъ него, то онъ сдѣлается антиподомъ самому себѣ, и направленіе, которое въ одно время есть верхъ, въ другое время будетъ низъ". Это объясненіе цѣликомъ могло бы быть перенесено въ современный элементарный учебникъ астрономіи или географіи. Наконецъ, вполнѣ опредѣленно высказалъ ученіе о шарообразности земли и снабдилъ его правильными доказательствами—знаменитый философъ и естествоиспытатель древности Аристотель. Вотъ мѣсто изъ его трактата „О небѣ" (De coelo), гдѣ онъ говоритъ объ этомъ: „Что касается фигуры земли, она необходимо должна быть сферическая". Доказавъ это стремленіемъ вещей внизъ во всѣхъ мѣстахъ одинаково, Аристотель продолжаетъ: „Къ этому присоединяются еще указанія чувствъ: если бы дѣло было не такъ, то затменія луны не имѣли бы такихъ формъ, потому что въ теченіе мѣсяца очертаніе темной части луны принимаетъ всѣ виды,—оно бываетъ прямое, вогнутое и выпуклое, но въ затменіяхъ раздѣлительная линія всегда бываетъ выпуклая; и такъ какъ луна затмевается вслѣдствіе того, что между нею и солнцемъ помѣщается земля, то причиною этого должна быть окружность земли, имѣющей сферическую форму. И далѣе, изъ появленія звѣздъ на горизонтѣ ясно, что земля не только кругла, но что и величина ея не очень большая, потому что, когда мы передвигаемся немного на югъ или на сѣверъ, кругъ горизонта становится замѣтно иной, такъ что въ звѣздахъ надъ нашею головой происходитъ большая перемѣна, и звѣзды бываютъ различны у тѣхъ, кто движется на сѣверъ или на югъ, такъ какъ нѣкоторыя звѣзды бываютъ видны въ Египтѣ или на Кипрѣ, но не бываютъ видны на сѣверъ отъ нихъ, и звѣзды, которыя на сѣверѣ дѣлаютъ на небѣ полный видимый оборотъ, здѣсь заходятъ за горизонтъ. Такимъ образомъ, изъ этого ясно, не только — что фигура земли кругла, но также—что она есть часть не весьма большой сферы, потому что иначе эта разница не была бы такъ ясна для людей, дѣлающихъ столь небольшую перемѣну мѣста. Поэтому мы можемъ думать, что люди, которые связываютъ страну въ сосѣдствѣ Геркулесовыхъ Столбовъ съ страной около Индіи и которые утверждаютъ, что на этомъ пространствѣ только лишь море, — утверждаютъ вещь не очень невѣроятную... Математики, которые стараются вычислить мѣру окружности, считаютъ ее въ 400000 стадій, изъ чего мы можемъ заключить, что земля не только имѣетъ сферическую форму, но что она невелика въ сравненіи съ величиной другихъ звѣздъ".

Однако, эти очевидныя доказательства, которыя, съ яснымъ пониманіемъ дѣла, *повторитъ въ настоящее время* ученикъ начальной школы, не казались убѣдительными человѣческому уму при первыхъ шагахъ на поприщѣ критическаго изслѣдованія явленій природы. Трудно было отрѣшиться отъ установившагося вѣками міровоззрѣнія, основаннаго на непосредственныхъ показаніяхъ органовъ чувствъ. И *потому, на ряду съ указаннымъ нами твореніемъ стагирскаго* философа, существовали и имѣли поклонниковъ сочиненія другихъ писателей, представлявшія землю и въ видѣ столба, съ плоско-срѣзаннымъ верхнимъ краемъ, и въ видѣ острова, плавающаго среди океана, и т. п. Въ средніе вѣка, въ этотъ мрачный и безплодный періодъ застоя науки и упадка духовной культуры человѣчества, идея о шарообразности земли была почти совсѣмъ забыта и въ литературныхъ произведеніяхъ этой эпохи можно встрѣтить самыя нелѣпыя мнѣнія о формѣ земли. Такъ, наприм., извѣстный писатель Козьма Индикопловъ († 550 г.) въ своей „Христіанской топографіи“, — весьма распространенномъ сочиненіи, имѣвшимъ цѣлью согласовать систему Птоломея съ Библіей, описываетъ землю, какъ продолговатый, съ плоскимъ дномъ и стѣнами, ящикъ, крышкою которому служитъ сводъ неба; въ сѣверной части этой коробки находится высокая гора, вокругъ которой обходятъ небесныя свѣтила; закрывая отъ насъ солнце, эта гора производитъ ночь; она же служитъ причиною солнечныхъ и лунныхъ затменій. Несмотря на всю свою странность, это міропониманіе, однако, еще не самое нелѣпое изъ распространенныхъ въ средніе вѣка. Особенно трудно было мыслителю того темнаго времени согласиться съ существованіемъ антиподовъ, т. е. жителей противоположнаго намъ полушарія земли. „Возможно ли“, говоритъ христіанскій писатель Лактанцій, „людямъ быть столь безумнымъ, чтобы вѣрить, что жатвы и деревья на другой сторонѣ земли висятъ внизъ, и что у людей ноги выше ихъ головъ?“ Блаженный Августинъ отвергаетъ существованіе антиподовъ на томъ основаніи, что это племя не упоминается въ Библіи между потомками Адама. Другимъ писателямъ казалось великой ересью—принимать міръ существъ, которыя, не имѣя соприкосновенія съ христіанскою церковью, должны, такимъ образомъ, находиться внѣ спасенія. Но, несмотря на то, что многіе считали ученіе объ антиподахъ и о шарообразности земли „глупымъ мудрствованіемъ“ (св. Іеронимъ), несмотря на то, что, только за нѣсколько лѣтъ до открытія Америки, это мнѣніе признавали „небезопаснымъ“ и преслѣдовали его

приверженцевъ, — однако, въ 1492 г. Колумбъ посѣтилъ противоположное намъ полушаріе земли и вступилъ въ сношенія съ антиподами, а корабль Магеллана въ 1520 г. впервые обогнулъ кругомъ земной шаръ, не „свалившись внизъ" съ края земли и не встрѣтивъ стѣнъ Козьмы Индикоплова. Тогда окончательно рушились послѣднія сомнѣнія, и шаровидность земли стало твердо установленнымъ фактомъ.

Доказательства шарообразности земли.

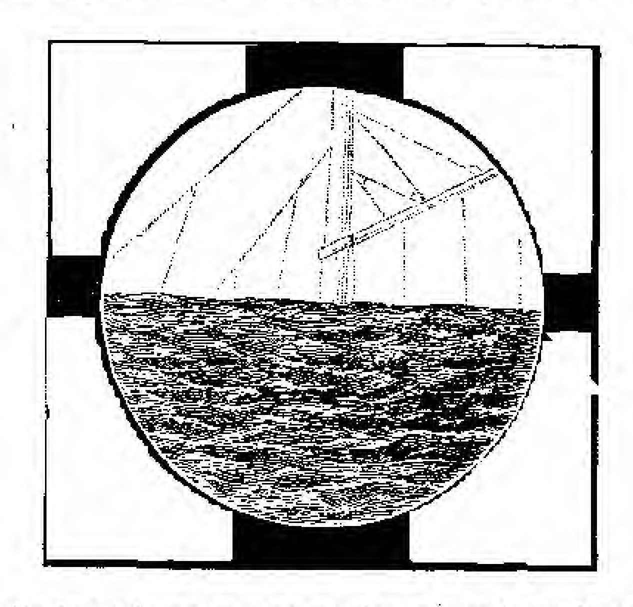
2. Остановимся на нѣкоторыхъ изъ доказательствъ шарообразности земли. Въ сущности, уже одинъ тотъ фактъ, что видимая нами небольшая часть земной поверхности, въ какой бы точкѣ земли мы ни находились, всегда ограничивается кругомъ, несомнѣнно доказываетъ эту шарообразность. Дѣйствительно, совокупность всѣхъ лучей зрѣнія, касательныхъ къ земной поверхности и выходящихъ изъ точки наблюденія A (фигура 264), образуетъ коническую поверхность $AKLM$, которая касается поверхности земли по кривой KLM; эта кривая всегда представляетъ окружность, гдѣ бы ни находилась на землѣ точка A, что возможно только въ томъ случаѣ, если поверхность земли — сферическая. Если мы обозрѣваемъ горизонтъ изъ точки B, лежащей выше A, то кривая KLM передвинется въ $K'L'M'$, все время оставаясь окружностью. Изъ точки A видна лишь верхушка отдаленнаго предмета a и совсѣмъ не виденъ предметъ b, изъ выше лежащей точки B виденъ почти весь предметъ a и видна уже верхняя часть предмета b. Все это, какъ извѣстно, наблюдается и въ дѣйствительности.



Фиг. 264. Круговая форма видимаго горизонта, какъ доказательство шарообразности земли.

Фиг. 265 и 266 представляютъ видъ корабля, скрытаго подъ горизонтомъ, какъ онъ рисуется въ полѣ зрѣнія зрительной трубы: мачты и паруса видны хорошо, между тѣмъ какъ корпусъ скрытъ за выпуклостью океана. При этомъ, если окуляръ зрительной трубки

поставленъ такъ, что рѣзко рисуются волны океана, то мачты и паруса корабля видны неотчетливо (фиг. 265); наоборотъ, когда передвинемъ окуляръ такъ, чтобы рѣзко были видимы мачты и паруса, то — волны дадутъ неясное изображеніе (фиг. 266). Отсюда очевидно не только, что нижняя часть корабля скрыта за выпуклость океана, но также, — что эта выпуклость значительно ближе къ наблюдателю, чѣмъ корабль. Англійскій астрономъ Прокторъ (Proctor), изъ сочиненія котораго („Old and new Astronomy", 1892) взяты фиг. 265 и 266, говоритъ по этому поводу: „Всѣ, кому только случалось въ благопріятныхъ условіяхъ произвести



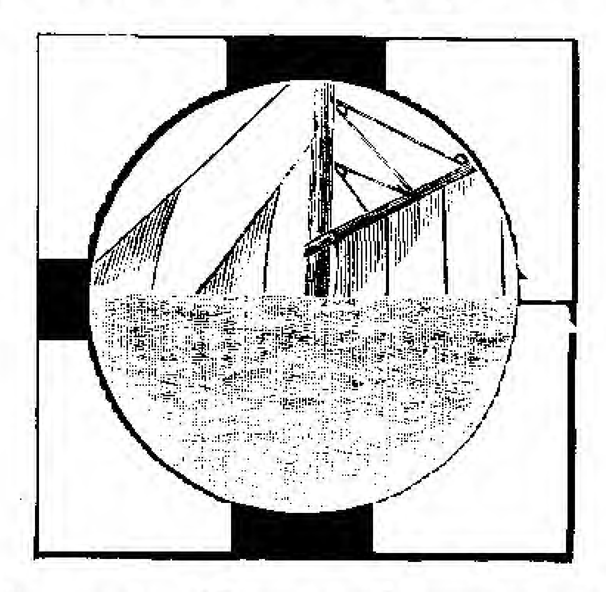
Фиг. 265. Изображеніе отдаленнаго корабля въ полѣ зрѣнія зрительной трубы. Окуляръ трубы установленъ такъ, что рѣзко видна пограничная выпуклость водной поверхности.

такое наблюденіе, единогласно свидѣтельствовали, что, какъ ни крѣпко было ихъ довѣріе къ истинѣ о круглотѣ земли, — они именно въ этомъ наблюденіи нашли наисильнѣйшее ея подтвержденіе".

Къ этому же роду доказательствъ слѣдуетъ присоединить общеизвѣстный фактъ, что при восходѣ солнца вершины горъ, верхушки высокихъ зданій раньше освѣщаются, а при заходѣ — дольше остаются освѣщенными, чѣмъ долины, нижнія части зданій и пр.

Другое несомнѣнное доказательство шарообразности земли дается прокорціональностью угловъ между перпендикулярами къ земной поверхности въ различныхъ ея точкахъ — съ разстояніями этихъ

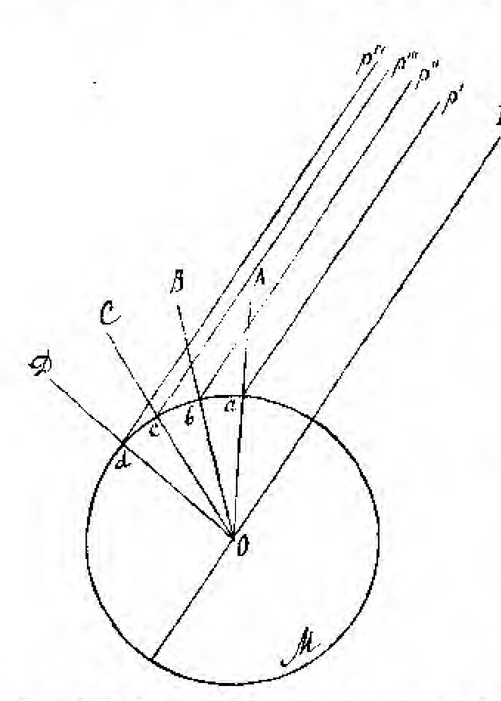
точекъ. Пояснимъ это. Пусть фиг. 267 представляетъ сѣченіе земли по одному изъ меридіановъ. Представимъ себѣ, что измѣрены углы между перпендикулярами AO, AB, CO... къ земной поверхности въ точкахъ a, b, c..., отстоящихъ другъ отъ друга на равныя разстоянія $ab=bc=cd$. Если бы оказалось, что $\angle AOB=\angle BOC=$ $=\angle COD$ и, слѣдовательно, $\angle AOC=2\angle AOB$ или $\angle AOD=$ $=3\angle COB$ и т. д., то кривая $abcdM$ была бы окружность, а если бы подобныя изслѣдованія были выполнены съ различными земными меридіанами и всѣ они оказались кругами, то это послужило бы несомнѣннымъ доказательствомъ шарообразности земли. Подоб-



Фиг. 266. То же, что фиг. 265, но окуляръ передвинутъ такъ, что рѣзко рисуются снасти корабля.

ныя измѣренія, какъ мы увидимъ далѣе, были произведены много разъ и показали, что форма земли мало отличается отъ шарообразной. Измѣрять непосредственно углы между перпендикулярами къ земной поверхности въ точкахъ a, b, c..., отстоящихъ другъ отъ друга на сотни и тысячи верстъ,—невозможно. Однако, если измѣрять углы не между самими вертикальными линіями, а между ними и нѣкоторымъ постояннымъ направленіемъ, то задача станетъ сравнительно простою. Такое неизмѣнное направленіе дается осью міра OP, и искомые углы между перпендикулярами мы получимъ, измѣряя углы AaP', BbP'... и вычитая ихъ одинъ изъ другого,—

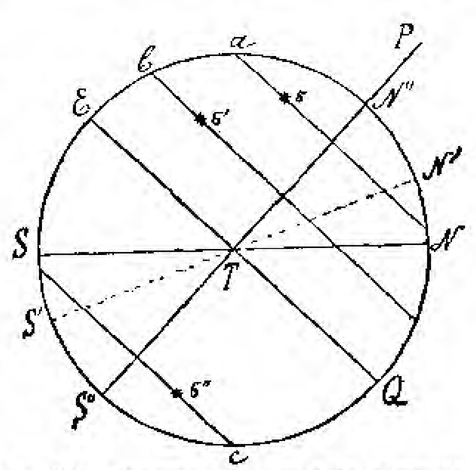
такъ, напр., $\angle COA = \angle CcP''' - \angle AaP'$. Изъ § 8 статьи „Астрономическіе инструменты“ слѣдуетъ, что углы AaP', BbP'', CcP'''... суть дополненія до 90° географическихъ широтъ мѣстъ a, b, c...; тамъ же было показано, какъ опредѣляются географическія широты при помощи угломѣрныхъ снарядовъ; такимъ образомъ, упомянутая выше пропорціональность угловъ между вертикалями съ линейными разстояніями на землѣ сводится къ равномѣрности измѣненій географическихъ широтъ при перемѣщеніяхъ наблюдателя къ сѣверу или югу. Если ограничиться приблизительными, не „астрономически точными“, измѣреніями, то эта равномѣрность, доказывающая шарообразность земли, дѣйствительно наблюдается.



Фиг. 267. Пропорціональность разностей географическихъ широтъ линейнымъ разстояніямъ на земной поверхности.

Посмотримъ, какія измѣненія въ видѣ неба въ разныхъ мѣстахъ влечетъ за собою шарообразность земли. Пусть на фиг. 268 точка T представляетъ земной шаръ, TP—ось міра, кругъ $ENQS$ —небесный меридіанъ, SN, EQ, a, b, c—сѣченія съ плоскостью меридіана плоскостей горизонта, экватора и небесныхъ параллелей. Для точки земной поверхности съ широтою $\varphi = \angle PTN$ звѣзда σ, описывающая параллель a, никогда не заходитъ подъ горизонтъ, звѣзда σ'' наоборотъ—совсѣмъ невидима, звѣзда σ' въ своемъ суточномъ движеніи восходитъ на востокѣ и заходитъ на западѣ. Если наблюдатель перемѣстится къ югу, то горизонтъ его займетъ положеніе $N'S'$, широта уменьшится до $\varphi' = \angle PTN'$. Теперь звѣзда σ сдѣлалась уже заходящею, между тѣмъ какъ на югѣ стали показываться новыя звѣзды, какъ, напр., σ'', прежде невидимыя. Это и есть то измѣненіе въ видѣ звѣзднаго неба, о которомъ говоритъ Аристотель, и которое, по его словамъ, можно замѣтить уже при маломъ перемѣщеніи съ

Кипра въ Египетъ. Добавимъ здѣсь, что для наблюдателя, находящагося на экваторѣ, ось міра TP совмѣщается съ горизонтомъ $N''S''$; тамъ *всѣ* звѣзды восходятъ и заходятъ, *описывая надъ горизонтомъ* ровно полкруга, что и служитъ причиною постояннаго равенства дней и ночей на экваторѣ, независимо отъ положенія солнца на небѣ. Наконецъ, на полюсахъ земного шара горизонтъ совпадаетъ съ экваторомъ EQ, всѣ звѣзды одной полусферы неба описываютъ полные круги, параллельные горизонту, никогда не заходя подъ него, звѣзды же противоположнаго полушарія совсѣмъ невидимы. Солнце бываетъ полгода въ сѣверномъ небесномъ полушаріи (съ 21 марта по 21 сентября нов. ст.) и полгода въ южномъ, что зависитъ отъ наклоненія эклиптики къ экватору; поэтому, какъ извѣстно, на каждомъ полюсѣ полугодовой день смѣняется такою же длинною ночью. Всѣ эти явленія опять-таки подтверждаютъ шарообразность земли.



Фиг. 268. Различныя положенія земныхъ горизонтовъ относительно небесной сферы.

Если, кромѣ всего вышеизложеннаго, мы упомянемъ еще о кругосвѣтныхъ путешествіяхъ и о круговой формѣ земной тѣни на лунѣ во время лунныхъ затменій, то все вмѣстѣ даетъ такую связную цѣпь неопровержимыхъ доказательствъ, что шарообразность земли становится строго установленнымъ фактомъ, въ которомъ не остается ничего гипотетическаго. Однако, вникая глубже въ свойства вопроса, легко замѣтить, что только одно изъ перечисленныхъ выше доказательствъ, именно, измѣненіе географическихъ широтъ съ перемѣною мѣста, можетъ служить, при точнѣйшихъ измѣреніяхъ, средствомъ для опредѣленія истинной фигуры земли и для изслѣдованія уклоненій отъ геометрически правильной шарообразной формы, если такія уклоненія существуютъ. Всѣ же остальныя доказательства, или по самой своей сущности, какъ, напр., кругосвѣтныя путешествія, или по неудобству точныхъ измѣреній, — каковы форма земной тѣни на лунѣ и круговая форма видимаго горизонта, — убѣждаютъ насъ только лишь въ томъ, что

земля не имѣетъ никакихъ „краевъ", выступовъ или реберъ, что она ограничена со всѣхъ сторонъ замкнутою криволинейною поверхностью; но вопросъ о томъ, что это за поверхность, остается открытымъ, и въ лучшемъ случаѣ эти доказательства лишь свидѣтельствуютъ, что фигура земли мало отличается отъ шара.

Величина земного шара. Древнѣйшія измѣренія.

3. Но прежде чѣмъ говорить о точныхъ изслѣдованіяхъ истинной фигуры земли, намъ слѣдуетъ коснуться неразрывно съ этимъ связаннаго вопроса о размѣрахъ земного шара. Обратимся къ фиг. 267. Пусть опредѣлены географическія широты точекъ a и d, лежащихъ на одномъ меридіанѣ; вычитаніемъ получимъ разность широтъ δ°, — это, конечно, будетъ величина дуги меридіана ad въ градусахъ; пусть длина этой дуги измѣрена въ линейныхъ мѣрахъ и оказалась равною, напр., $ad=m$ верстъ; тогда длина одного градуса дуги меридіана равна $\frac{m}{\delta}$, а длина всей окружности меридіана $=\frac{m}{\delta}\cdot 360$ верстъ; но длина всякой окружности есть $2\pi R$, гдѣ R — ея радіусъ и $\pi=3,14159$; отсюда: $2\pi R=\frac{360m}{\delta}$ и затѣмъ $R=\frac{360m}{2\pi\delta}$. Этотъ простой пріемъ опредѣленія радіуса земли былъ изобрѣтенъ еще въ глубокой древности. Онъ же примѣняется и теперь.

Первая попытка опредѣленія земного радіуса принадлежитъ афинянину Эратосфену, директору знаменитой Александрійской библіотеки, жившему около 276 — 196 г. до Р. Х. Онъ исходилъ изъ такихъ соображеній. Города Александрія и Сіенна (нынѣшній Ассуанъ) лежатъ приблизительно на одномъ меридіанѣ; въ Сіеннѣ въ день лѣтняго солнцестоянія, въ полдень, предметы не бросаютъ тѣни, и солнце можетъ быть видимо со дна глубокихъ колодцевъ (это значитъ, что Сіенна лежитъ какъ разъ подъ тропикомъ); между тѣмъ въ тотъ же день Эратосфенъ, измѣривъ при помощи гномона зенитное разстояніе солнца въ Александріи, нашелъ его равнымъ $^1/_{50}$ части окружности ($7^\circ 12'$); такова же, очевидно, и разность широтъ этихъ двухъ городовъ; но изъ времени перехода каравановъ линейное разстояніе между Александріею и Сіенною опредѣлялось въ 5000 стадій; отсюда длина окружности земли равна 250000 и ея радіусъ — около 40000 стадій. Длина употребленной здѣсь стадіи съ точностью неизвѣстна, — её опредѣляютъ отъ 158 до 185 метр. Но во всякомъ случаѣ результатъ Эратосфена

близокъ къ истинѣ, что, *принимая во вниманіе* грубость измѣреній, слѣдуетъ приписать лишь случайности.

Второе подобное же измѣреніе произведено Посидоніемъ, другомъ Цицерона, между Александріей и Родосомъ, находящимися на разстояніи 5000 стадій, что опредѣлялось по времени плаванія кораблей. На островѣ Родосѣ звѣзда Канопусъ (α Argus) едва появлялась въ южной части горизонта, въ Александріи же она кульминировала на высотѣ $^1/_{48}$ части окружности надъ горизонтомъ; отсюда разность широтъ$=7\,^1/_2{}^\circ$ и окружность меридіана$=240000$ стадій. Это опредѣленіе менѣе точно, чѣмъ первое.

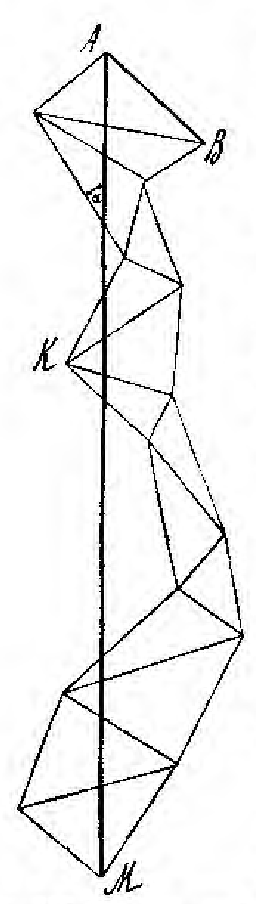
Во времена процвѣтанія науки у арабовъ, въ IX вѣкѣ по Р. Х., предпріятіе измѣренія земли было выполнено арабскими астрономами по порученію халифа Альмаймона, извѣстнаго своимъ покровительствомъ наукамъ. Измѣреніе произведено въ равнинѣ Сингіаръ въ Месопотаміи. Ученые раздѣлились на двѣ партіи, которыми предводительствовали астрономы Халибъ-бенъ-Абдольмаликъ и Али-бенъ-Иса. Одна партія направилась къ сѣверу, другая къ югу; каждая измѣряла разстояніе, непосредственно прикладывая къ землѣ свою мѣрку, и остановилась тогда, когда изъ астрономическихъ наблюденій увидѣла, что она отошла на 1° отъ мѣста отправленія. Такимъ образомъ была измѣрена дуга меридіана въ 2°. Къ сожалѣнію, численные результаты этой работы утрачены.

Въ 1525 г. французскій врачъ Фернель (Fernel) измѣрилъ разстояніе между Парижемъ и Амьеномъ, считая обороты колеса экипажа, и опредѣлилъ разность широтъ, наблюдая высоты солнца съ помощью деревяннаго треугольника съ діоптрами. Сравнительно малую ошибку этого измѣренія можно приписать только счастливой случайности.

Изобрѣтеніе тріангуляціи.

4. Эпоху въ исторіи градусныхъ измѣреній составило измѣреніе голландскаго математика Снелліуса въ 1615—1617 гг. Онъ впервые примѣнилъ методъ такъ называемой *тріангуляціи*, состоящей въ томъ, что непосредственно измѣряютъ не большую дугу меридіана, а только *базисъ* AB (фиг. 269) въ нѣсколько верстъ. Затѣмъ составляютъ сѣть треугольниковъ, измѣряютъ въ вершинахъ этихъ треугольниковъ углы, опредѣляютъ географическія широты двухъ вершинъ A и M въ двухъ крайнихъ треугольникахъ, измѣряютъ одинъ уголъ α одной стороны какого-нибудь треугольника съ меридіаномъ AM. Этихъ данныхъ вполнѣ достаточно, чтобы тригонометрически получить длины сторонъ всѣхъ треугольниковъ, отрѣзки меридіана, соотвѣтствующіе каждому треугольнику и, наконецъ, длину всей дуги AM меридіана между конечными пунктами

тріангуляціи. Снеллiусъ (Willebrord Snellius, 1580—1626) проложилъ 32 треугольника въ окрестностяхъ Лейдена, между городами Алькмаромъ и Бергеномъ. Длина 1° получилась равною 28500 голландскихъ рутъ или 55100 французскихъ туазовъ, что значительно ниже истины. Ошибка произошла отъ неточности употребленныхъ приборовъ: базисъ измѣрялся простою желѣзною линейкой, углы — мѣднымъ квадрантомъ съ діоптрами, дававшимъ точность лишь до минутъ дуги. Но важность работы Снелліуса заключается не въ точности полученныхъ чиселъ, а въ изобрѣтеніи новаго метода, который съ современными измѣрительными приборами даетъ точнѣйшіе результаты. Измѣреніе длинной дуги замѣняется здѣсь тригонометрическимъ вычисленіемъ, которое даетъ математически точные результаты, а непосредственно измѣряемую небольшую сторону одного изъ треугольниковъ, называемую базисомъ, можно выбрать на удобной ровной мѣстности, чѣмъ въ значительной степени уменьшаются ошибки измѣренія; углы треугольниковъ также могутъ быть измѣрены (универсальнымъ инструментомъ) [1]) съ большою точностью. Такимъ образомъ, 1615 г. слѣдуетъ считать годомъ возникновенія высшей геодезіи, а голландца Снелліуса можно назвать отцомъ этой науки.



Фиг. 269. Схематическое изображеніе тріангуляціонной сѣти по меридіану.

Измѣреніе Норвуда.

5. Въ 1635 году Норвудъ (Norwood) измѣрилъ дугу вблизи Лондона въ $2^1/_2°$ и получилъ хорошіе результаты. Но это измѣреніе осталось неизвѣстнымъ даже въ кругу Лондонскаго Королевскаго общества, предсѣдателемъ котораго въ то время былъ Ньютонъ. Какъ извѣстно, Ньютонъ при изслѣдованіи движенія луны пользовался старинными неточными данными о размѣрахъ земли, почему получилъ результаты, несходные съ наблюденіями, и отложилъ работу на нѣсколько лѣтъ; онъ закончилъ ее и издалъ въ свѣтъ свои „Principia" въ 1686 г. — уже послѣ того, какъ узналъ о точномъ градусномъ измѣ-

---

1) См. § 16 ст. „Астрономическіе инструменты" II, 40.

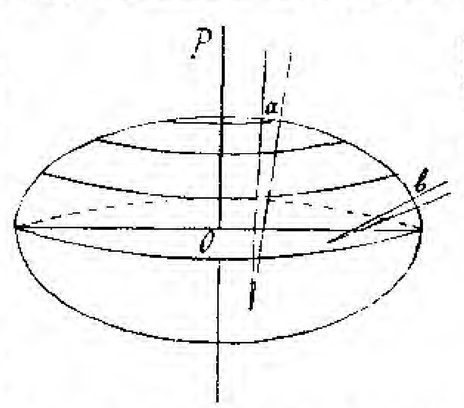
реніи Пикара. Если бы Ньютонъ зналъ про измѣреніе Норвуда, теорія тяготѣнія явилась бы нѣсколькими годами раньше.

Тріангуляція Пикара.

6. Французскій астрономъ Пикаръ (Jean Picard), 1920 — 1682) первый примѣнилъ въ своей работѣ инструменты, въ которыхъ раздѣленные круги были соединены съ трубами, снабженными нитяными сѣтками. Отъ этого въ значительной степени увеличилась точность. При тріангуляціи стало возможнымъ брать очень большіе треугольники, что увеличиваетъ быстроту и точность работы. Пикаръ въ 1669—70 г. измѣрилъ дугу парижскаго меридіана, при чемъ нашелъ величину одного градуса равною 57060 туазовъ Это весьма близкое къ истинѣ число получило большую извѣстность, — имъ воспользовался при своихъ вычисленіяхъ Ньютонъ. Базисъ, выбранный и измѣренный Пикаромъ, лежалъ между Парижемъ и Шуази, а вся сѣть треугольниковъ располагалась между Амьеномъ и Мальвуазиною.

Открытіе сплюснутости земного шара. Теоретическія доказательства ея существованія.

7. При всѣхъ вышеописанныхъ измѣреніяхъ принималось, что земля есть правильный шаръ. Однако, ко времени Пикара, Гюйгенсъ и затѣмъ Ньютонъ доказали, что земля не можетъ быть шаромъ, а должна быть *сжатымъ эллипсоидомъ вращенія*, т. е. имѣть форму геометрическаго тѣла, происходящаго отъ вращенія эллипса вокругъ его малой оси (фиг. 270). Это слѣдуетъ изъ такихъ соображеній. Въ механикѣ доказывается, что жидкость можетъ быть въ равновѣсіи только въ томъ случаѣ, когда ея свободная поверхность перпендикулярна къ равнодѣйствующимъ всѣхъ силъ, дѣйствующихъ въ различныхъ точкахъ этой поверхности. Если бы земля была въ покоѣ, то воды океановъ, вслѣдствіе правильнаго и равномѣрнаго притяженія частицъ къ центру, дѣйствительно имѣли бы правильную сферическую поверхность. Но земля имѣетъ суточное вращеніе, которое служитъ причиною возникновенія центробѣжной силы. Подъ вліяніемъ двухъ силъ—притяженія и центробѣжной—форма свободной поверхности океановъ отступаетъ отъ сферической и получаетъ вздутіе на экваторѣ, такъ какъ точки экваторе имѣютъ наибольшую линейную скорость въ суточномъ вращеніи. Если бы въ образо-



Фиг. 270. Сжатый эллипсоидъ вращенія или сфероидъ.

ваніи экваторіальной выпуклости не участвовала твердая поверхность земли, тогда ка экваторѣ, очевидно, вода залила бы материки. Но этого нѣтъ,—слѣдовательно, въ образовазіи экваторіальной выпуклости и вмѣстѣ съ тѣмъ сжатія земли у полюсовъ—принимаетъ участіе и твердая земная кора. Что такая выпуклость твердыхъ частей земного шара могла образоваться, доказывается данными геологіи. Эта наука показываетъ, что, во-первыхъ, земля, въ отдаленный отъ насъ на сотни милліоновъ лѣтъ періодъ своего существованія,—была жидкою, и во-вторыхъ,—что даже и теперь, несмотря на свою сравнительную твердость,—земная кора достаточно пластична, чтобы подчиняться вліянію могущественныхъ силъ и измѣнять свою форму.

Сплюснутость земли подтверждается также изъ теоріи движенія луны: экваторіальная выпуклость своимъ протяженіемъ производитъ неправильности въ движеніи нашего спутника, изъ которыхъ сжатіе земли даже можетъ быть опредѣлено методами теоретической астрономіи (полученное этимъ путемъ оно оказывается равнымъ $^1/_{303}$).

Подтвержденіе существованія сжатія земли наблюденіями съ маятникомъ.

8. Правильный шаръ притягиваетъ вездѣ одинаково, на какой бы части поверхности шара ни лежала притягиваемая точка. Для тѣла эллипсоидальной формы такой правильности нѣтъ. Здѣсь, какъ показываетъ теорія, тяжесть увеличивается съ приближеніемъ отъ экватора къ полюсамъ [это измѣненіе тяжести на эллипсоидѣ выражается формулою: $g_\varphi = g_0\ (1 + a\ \sin^2\varphi)$, гдѣ g_φ—ускореніе силы тяжести на широтѣ φ, g_0—на экваторѣ, и a—коэффиціентъ, зависящій отъ величины сжатія эллипсоида; для земли a оказывается равнымъ $^1/_{193}$].

Итакъ—сила земной тяжести уменьшается по мѣрѣ приближенія отъ полюсовъ къ экватору,—это служитъ еще однимъ изъ доказательствъ сплюснутости земли. Правда, кромѣ этой причины, на уменьшеніе силы тяжести вліяетъ еще центробѣжная сила: она стремится отбросить всякое тѣло съ земли и дѣйствуетъ, такимъ образомъ, противоположно силѣ тяжести,—но, зная скорость вращенія и размѣры земли, величину центробѣжной силы легко вычислить для какой угодно географической широты,—она равна нулю на полюсахъ, а на экваторѣ такова, что если бы земля вращалась въ 17 разъ быстрѣе, чѣмъ это на самомъ дѣлѣ, то тѣла на экваторѣ потеряли бы свой вѣсъ и могли бы, такъ сказать, „висѣть въ воздухѣ". Однако, за исключеніемъ вліянія центробѣжной силы, уменьшающей на экваторѣ вѣсъ всякаго тѣла на $^1/_{289}$ его часть, остается все-таки уменьшеніе силы тяжести, которое зависитъ уже

всецѣло отъ сжатія земли, и изъ величины этого уменьшенія сжатіе можетъ быть опредѣлено. Всего удобнѣе такія изслѣдованія дѣлаются при помощи маятника: при уменьшеніи силы тяжести маятникъ начинаетъ качаться медленнѣе, при увеличеніи движеніе его ускоряется. Такимъ образомъ, часы, вывѣренные въ сѣверныхъ странахъ, отстаютъ на экваторѣ—и, наоборотъ. Впервые изслѣдованіе съ маятникомъ было *произведено* физикомъ *Рише* (*Richer*) *во время* его экспедиціи въ 1672 г. въ Кайену, лежащую подъ 4°56′ сѣв. широты. Онъ нашелъ, что въ Кайенѣ парижскій секундный маятникъ качался медленнѣе, такъ что его нужно было ускорить на 1,25 линіи, чтобы онъ попрежнему отбивалъ секунды. Отсюда сжатіе земли оказывается равнымъ $^1/_{283}$. Наконецъ, существованіе сплюснутости земли косвеннымъ образомъ подтверждается присутствіемъ таковой же сплюснутости у планетъ, которыя, подобно землѣ, вращаются вокругъ своихъ осей,—такъ, сплюснутость Юпитера равна $^1/_{16}$ части его экваторіальнаго радіуса, а для Сатурна она даже достигаетъ $^1/_9$.

Форма вращающейся жидкости, частицы которой обладаютъ ньютоніанскимъ притяженіемъ.

9. Что касается теоретическаго *вопроса*: какую форму *должна* принять *вращающаяся* жидкость при дѣйствіи взаимнаго притяженія частицъ, обратно пропорціональнаго квадратамъ разстояній, то во всей полнотѣ онъ не рѣшенъ еще и до сихъ поръ. Послѣ Гюйгенса и Ньютона имъ занимались знаменитые математики Маклоренъ, Д'Аламберъ, Лапласъ (Maclaurin, 1698—1746, D'Alambert, 1717—1783, Laplace, 1749—1827) и др., а въ послѣднее время большой шагъ впередъ въ рѣшеніи этой задачи теоретической механики—сдѣлалъ французскій математикъ Пуанкаре (H. Poincaré). Несмотря на то, въ настоящее время можно лишь сказать, что задача эта имѣетъ нѣсколько рѣшеній, и, выбирая произвольно различныя геометрическія поверхности, можно убѣждаться, удовлетворяютъ онѣ условіямъ равновѣсія или нѣтъ,—всѣхъ же отвѣтовъ на вопросъ изыскать нельзя. Дѣло въ томъ, что для полнаго рѣшенія задачи приходится произвести весьма сложную математическую операцію (интегрированіе), выполнить которую математическій анализъ, при современномъ его состояніи, не даетъ способовъ. Производя указанную выше повѣрку задачи, успѣли убѣдиться, что сжатый эллипсоидъ вращенія есть одна изъ формъ равновѣсія вращающейся жидкости. Но условіямъ равновѣсія удовлетворяетъ также и *трехосный эллипсоидъ*, а, можетъ быть, еще и другія поверхности (трехосный эллипсоидъ получимъ, сжавши вышеупомянутый эллипсоидъ вращенія еще по одному изъ экваторіальныхъ его діаметровъ; всѣ меридіаны, а также экваторъ и параллели такого эллипсоида—суть эллипсы).

Опредѣленіе сжатія земли изъ градусныхъ измѣреній.

10. Вернемся теперь къ дальнѣйшему изложенію исторіи градусныхъ измѣреній. Исходя изъ теоріи тяготѣнія, путемъ остроумныхъ соображеній Ньютонъ доказалъ, что земля должна быть сжатымъ у полюсовъ эллипсоидомъ вращенія, т. е. напоминать своею формою апельсинъ (другое названіе этого эллипсоида—*сфероидъ*). Онъ даже опредѣлилъ величину сжатія и нашелъ, что полуось земли короче экваторіальнаго радіуса на $^1/_{230}$ часть этого послѣдняго. Предстояло повѣрить этотъ теоретическій выводъ на дѣлѣ, т. е. путемъ градусныхъ измѣреній.

Для этой цѣли необходимы, по крайней мѣрѣ, два градусныхъ измѣренія, которыя дали бы длины одного градуса меридіана для различныхъ широтъ. Дѣйствительно, на сжатомъ у полюсовъ эллипсоидѣ вращенія, какъ видно на фиг. 270, равнымъ угламъ между вертикалями соотвѣтствуютъ дуги различной длины: ближе къ полюсу (въ точкѣ *a)* дуга въ одинъ градусъ длиннѣе, чѣмъ въ областяхъ экваторіальныхъ (въ *b)*; это зависитъ отъ того, что кривизна эллипсоида меньше у полюсовъ и больше на экваторѣ. Получивъ длины одного градуса на различныхъ широтахъ, по разницѣ между числами можно судить о формѣ земли, можно вычислить и величину сжатія.

Для подтвержденія вывода Ньютона Французская Академія рѣшила продолжить измѣреніе Пикара къ сѣверу до Дюнкирхена и къ югу до Колліура. Работа совершена была Де-Лаиромъ (De-la-Hire, 1640—1718), Доминикомъ Кассини и сыномъ его Жакомъ (Giov. Domenico Cassini, 1625—1712; Jacques Cassini, 1677—1756). Измѣреніе это, законченное въ 1718 г., дало результаты, обратные теоріи Ньютона,—на сѣверѣ Франціи длина дуги въ 1° оказалось меньше (56960 туазовъ), чѣмъ на югѣ (57097). Однако, Ж. Кассини не хотѣлъ признать существованія ошибки въ своемъ измѣреніи (впослѣдствіи ошибка была доказана) и утверждалъ, что земля есть *вытянутый эллипсоидъ вращенія*, кривизна котораго меньше у экватора, чѣмъ у полюсовъ, т. е. формою напоминаетъ лимонъ (это геометрическое тѣло получается отъ вращенія эллипса вокругъ его длинной оси). Къ мнѣнію Кассини примкнули и другіе французскіе ученые; между ними и англичанами возгорѣлся научный споръ, при чемъ первые опирались на дѣйствительныя измѣренія, вторые—на авторитетъ Ньютона.

Для окончательнаго рѣшенія вопроса Французская Академія снарядила въ 1435—38 г. двѣ экспедиціи, одну на сѣверъ—въ Лапландію [участвовали французскіе ученые Мопертюи (Maupertuis), Клеро (Clairaut), Лемонье (Le Monnier) и др., а также шведъ Цельсій

(Celsius)], другую — на югъ въ перу [Бугеръ (Bouguer), Лакондаминъ (La Condamine) и др.]. Обѣ экспедиціи были снабжены точными приборами и двумя совершенно равными туазами, изъ которыхъ перуанскій туазъ и до сихъ поръ служитъ международною единицей для градусныхъ *измѣреній* (онъ равенъ приблизительно 1,95 метр.). Результаты экспедицій были таковы: длина градуса у экватора 56734 туаза, у полярнаго круга—57437, откуда сжатіе $= {}^1/_{114}$, что превосходитъ даже число Ньютона (${}^1/_{230}$), которое и такъ уже слишкомъ велико. Впослѣдствіи оказалось, что въ сѣверномъ измѣреніи вкралась ошибка. Когда лапландская дуга была переизмѣрена (1801—1803 г.) шведскими учеными, то длина градуса оказалась равною только 57196 туаз., откуда сжатіе $= {}^1/_{221}$.

Французское градусное измѣреніе.

11. Оставляя въ сторонѣ нѣсколько мелкихъ тріангуляцій XVIII вѣка, мы перейдемъ прямо къ знаменитому французскому измѣренію, которое было *предпринято для* установленія длины метра, основной единицы метрической системы мѣръ. По декрету французскаго правительства отъ 26 марта 1791 года метръ долженъ быть равенъ 0,0000001 части четверти парижскаго меридіана. Тріангуляція, начатая въ 1792 г. Деламбромъ (Delambre, 1649 — 1822) и Мешеномъ (Méchain), была продолжена (1806 — 1808 г.) учеными Араго (Jean François Dominique Arago, 1786 — 1853) и Біо (Biot) и впослѣдствіи соединена съ англійскою тріангуляціей (1854 г.), такъ что вся измѣренная дуга парижскаго меридіана захватила 22°9′44″ широты отъ мѣстечка Саксаворфъ въ Англіи до островка Форментеры на Средиземномъ морѣ (нѣсколько лѣтъ тому назадъ сѣть треугольниковъ перекинута даже въ Алжиръ). Работы велись въ разгаръ революціи и войнъ, ученые должны были преодолѣть многочисленныя препятствія,—такъ, напримѣръ, Араго былъ взятъ въ плѣнъ и даже едва избѣжалъ смерти въ Испаніи. Эта обширная и тщательно выполненная работа начинаетъ собою рядъ весьма точныхъ новѣйшихъ тріангуляцій, совокупные результаты которыхъ служатъ основаніемъ для современныхъ вычисленій размѣровъ земли и ея истинной фигуры.

Русско-скандинавская тріангуляція.

12. Въ XIX в. произведено много градусныхъ измѣреній подъ различными широтами и въ разныхъ частяхъ свѣта. Изъ нихъ мы подробнѣе остановимся на величайшей русско-скандинавской тріангуляціи и вмѣстѣ съ тѣмъ опишемъ, какъ вообще производятся эти работы въ настоящее время. До 1816 г. въ Россіи были только попытки градусныхъ измѣреній. Въ 1737 году академикъ Делиль (De l'Isle) составилъ проектъ тріангуляціи по меридіану Петербурга

и уже измѣрилъ—деревянными шестами по льду Финскаго залива—базисъ въ $13^1/_2$ верстъ. Но впослѣдствіи предпріятіе это было оставлено. Другой, также невыполненный планъ градуснаго измѣренія, принадлежитъ Линденау (Lindenau) (1814 г.). Только знаменитому В. Я. Струве (F. G. W. Struve), основателю и первому директору Пулковской обсерваторіи, удалось довести до конца составленный имъ проектъ грандіознаго измѣренія по меридіану Дерпта. Еще 19-тилѣтнимъ юношей задумалъ Струве это предпріятіе, а окончательные результаты напечаталъ, когда ему исполнилось 60 лѣтъ, употребивъ такимъ образомъ болѣе 40 лѣтъ жизни на выполненіе своего гигантскаго труда. Кромѣ Струве, въ предпріятіи участвовали ученые: Теннеръ, Зеландеръ (Selander) и Ганстенъ (Hansteen); оно продолжалось съ 1816 по 1851 годъ, а классическое сочиненіе Струве, съ окончательными выводами: „Дуга меридіана въ 25°20′ между Дунаемъ и Ледовитомъ океаномъ“,—напечатано въ 1860 г.

Начинаясь у мыса Фугленесъ (70°40′11″ с. ш.)—близъ шведскаго города Гаммерфеста, тріангуляція тянется черезъ западныя губерніи болѣе, чѣмъ на $2^1/_2$ т. верстъ, оканчиваясь въ мѣстечкѣ Старо-Некрасовкѣ у устьевъ Дуная (45°20′3″ с. ш.) и обнимая дугу Дерптскаго меридіана въ 25°20′8″. На этомъ протяженіи расположено 245 треугольниковъ съ 10 точно измѣренными базисами. Собственно для цѣлей работы достаточно одного базиса, остальные базисы—повѣрочные или, какъ говорятъ, верификаціонные. Каждый изъ повѣрочныхъ базисовъ теоретически вычисляется изъ данныхъ предыдущей тріангуляціи, затѣмъ измѣряется непосредственно; согласіе обоихъ результатовъ служитъ наилучшею повѣркою точности работъ. Въ окончательномъ вычисленіи всей тріангуляціи всѣ базисы входятъ на равныхъ правахъ, сообщая результатамъ необыкновенную точность. Съ цѣлью подобной же провѣрки результатовъ и увеличенія точности, кромѣ конечныхъ пунктовъ тріангуляціи, на протяженіи ея опредѣлено географическое положеніе еще 11 точекъ (Торнео, Килпи-мекп, о-въ Гохландъ, Дерптъ, Якобштадтъ, Нѣмежъ, Бѣлинъ, Кременецъ, Супрунковцы, Водолуй и Измаилъ). На основаніи теоріи вѣроятностей вычислена вѣроятная (возможная) ошибка измѣренія. Она оказалась равною ±6,23 туаза. Это значитъ, что погрѣшность въ измѣреніи всей дуги, длина которой 1447786,783 туаза, *можетъ быть* 6,23 туаза въ ту или другую сторону, но никакъ не больше этого количества. Легко убѣдиться простымъ дѣленіемъ, что точность измѣренія до-

стигаетъ въ этомъ случаѣ $\frac{1}{230000}$ или около 0,000004 доли измѣренной длины. Такой необыкновенной точности нельзя достигнуть даже при исполненіи чертежа и измѣреніи линій на бумагѣ, пользуясь самыми совершенными чертежными инструментами, а потому успѣхъ предпріятія слѣдуетъ признать образцовымъ.

13. Посмотримъ теперь, какимъ путемъ и съ помощью какихъ инструментальныхъ средствъ можетъ быть достигнута подобная точность. Всякая тріангуляція начинается съ измѣренія базиса, который имѣетъ длину обыкновенно въ 10 — 12 верстъ. На всемъ этомъ протяженіи, на возможно равной мѣстности, раздѣлываютъ прямолинейную дорожку, на подобіе полотна желѣзной дороги. Концы базиса опредѣляются врытыми въ землю массивными каменными столбами, къ которымъ привинчены серебряныя доски съ тщательно отмѣченными на нихъ двумя точками; въ этихъ точкахъ — началѣ и концѣ базиса — опредѣляются географическія широты. Затѣмъ производится самое измѣреніе базиса. Оно требуетъ величайшей аккуратности, такъ какъ, при выводѣ изъ данныхъ тріангуляціи — величины окружности земли, — ошибка измѣренія базиса возрастаетъ во столько разъ, во сколько длина окружности земного шара больше длины базиса, т. е. при длинѣ базиса, наприм., въ 10 верстъ — въ 3700 разъ (принимая окружность земли въ 37000 верстъ — приблизительно).

Базисный аппаратъ.

Измѣреніе ведутъ при помощи измѣрительныхъ линеекъ или такъ называемыхъ „жезловъ“, заключенныхъ въ „базисныхъ аппаратахъ“. Употребленный при русской тріангуляціи базисный аппаратъ Струве, хранящійся въ настоящее время въ Пулковѣ, состоитъ изъ стального жезла съ 12 парижскихъ футовъ длины съ квадратнымъ сѣченіемъ въ 15 кв. дюймовъ, концы котораго ограничены тщательно выточенными полусферами. Жезлъ заключенъ въ деревянномъ ящикѣ, туго набитомъ ватою, для возможно большаго предохраненія жезла отъ измѣненій температуры. Изъ ящика выступаютъ только полушарообразные концы стального стержня. На верхней стѣнкѣ ящика утверждена особая площадка съ микрометрическимъ винтомъ — для помѣщенія на нее точнаго уровня. Съ помощью этого приспособленія, напоминающаго собою тотъ „испытатель уровней“, о которомъ было говорено въ ст. „Астрономическіе инструменты“, можно — или привести аппаратъ въ строго горизонтальное положеніе, или же опредѣлить его наклонъ къ горизонту, чтобы ввести впослѣдствіи въ вычисленіе длины базиса со-

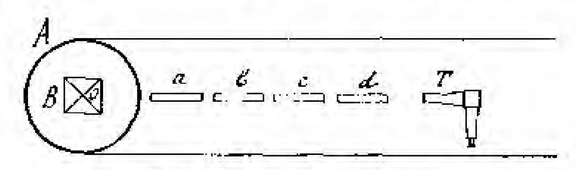
отвѣтствующія поправки. Сквозь ящикъ пропущены точные термометры, показывающіе температуру жезла въ моментъ измѣренія. Наконецъ, съ одной стороны базиснаго аппарата утверждена длинная стрѣлка съ раздѣленной дугой, показывающая малѣйшія измѣненія длины жезла отъ температуры. Во время измѣренія базисный аппаратъ ставится концами на двухъ устойчивыхъ треногахъ изъ массивныхъ деревянныхъ брусьевъ, при чемъ лежитъ на нихъ не прямо, а на особыхъ металлическихъ подушкахъ, снабженныхъ двумя микрометрическими винтами, съ помощью которыхъ концы базиснаго аппарата могутъ быть слегка перемѣщаемы вправо и влѣво. Подушки лежатъ въ свою очередь на площадкѣ съ тремя уравнительными винтами, при помощи которыхъ каждая площадка можетъ быть приведена въ горизонтальное положеніе, приподнята или опущена. Наконецъ, эти площадки своими уравнительными винтами стоятъ уже на упомянутыхъ выше треногахъ.

При измѣреніи базисовъ русской дуги употреблялись 4 одинаковыхъ базисныхъ аппарата. Несмотря на всѣ старанія конструктора, не могутъ быть приготовлены 4 жезла математически равной длины, — между ними всегда есть нѣкоторая малая разница. Для сравненія 4 жезловъ и для опредѣленія точной длины каждаго изъ нихъ служитъ особый приборъ, такъ называемый „компараторъ". Для повѣрки жезловъ, ихъ длины сравниваютъ съ длиною нормальнаго толстаго бруса изъ кованнаго желѣза, который служитъ главною составною частью компаратора. Приборъ этотъ помѣщается и опредѣленія длины жезловъ производятся въ погребѣ съ постоянною температурою (въ Пулковѣ). Сравненіе жезловъ дѣлаютъ непремѣнно при началѣ и концѣ измѣренія базиса и, кромѣ того, еще нѣсколько разъ въ теченіе этой работы. Многочисленныя опредѣленія длинъ жезловъ показали, что наибольшая ошибка въ измѣреніи базиса можетъ происходить отъ неточнаго знанія температуры жезловъ и ихъ коэффиціентовъ расширенія. Достаточно ошибиться только на $0^\circ,1R$ въ отсчетѣ температуры, чтобы происходящая отсюда ошибка въ измѣреніи базиса превзошла сумму всѣхъ прочихъ возможныхъ ошибокъ. Поэтому термометры, которыми снабжены базисные аппараты, калибрируются и повѣряются весьма тщательно, а также весьма точно опредѣляются коэффиціенты расширенія жезловъ, и потомъ, при вычисленіи длины базиса, вводятся соотвѣтствующія поправки на температуру.

Такое сильное вліяніе температуры, чрезвычайно усложняющее операцію измѣренія базисовъ, вызвало стремленіе измѣнить кон-

струкцію базиснаго аппарата и сдѣлать его компенсированнымъ, т. е. независящимъ отъ измѣненій температуры. Такая компенсація осуществлена, напр., въ англійскомъ базисномъ аппаратѣ, при помощи котораго произведены величайшія геодезическія работы въ Индіи,—измѣрены: дуга меридіана почти въ 24° и дуга параллели почти въ $10^1/_2°$. Не останавливаясь на описаніи этого остроумно скомбинированнаго, но вмѣстѣ съ тѣмъ очень простого прибора, мы скажемъ только, что въ немъ примѣненъ тотъ же принципъ компенсацій, который легъ въ основу построенія стержневого уравнительнаго маятника (см. ст. „Астрономическіе инструменты").

14. Послѣ провѣрки базисныхъ аппаратовъ приступаютъ къ измѣренію самого базиса, для чего прикладываютъ жезлы *a*, *b*, *c*, *d* (фиг. 271) послѣдовательно одинъ къ другому. Жезлы „выравниваются" при помощи трубы *T* (переносный пассажный инструментъ), установленной въ направленіи базиса. Въ точкѣ *T* наблюдатель, какъ говорятъ, „сидитъ на трубѣ" и вывѣряетъ направленіе жез- **Измѣреніе базиса.**



Фиг. 271. Измѣреніе базиса.

ловъ, давая условные знаки, какой конецъ жезла и въ какую сторону надо подвинуть (микрометрическими винтами), чтобы всѣ жезлы лежали строго на одной прямой линіи. На нашемъ рисункѣ *A* представляетъ каменный столбъ, *B*—квадратную серебряную пластинку, на которой тонкими штрихами выгравированъ крестикъ съ центромъ *O* — начальною точкой базиса.

Операція измѣренія базиса сложна, крайне медленна и утомительна; кромѣ самихъ наблюдателей, она требуетъ нѣсколькихъ помощниковъ и много прислуги. Въ день обыкновенно удается измѣрить около $^1/_2$ версты и самое большее $^3/_4$ в. Удобнѣйшее время для измѣренія — раннее утро и вечеръ. Въ жаркое время дня, отъ 12 до 3—4 час., и ночью работы прекращаются. На мѣстѣ перерыва врываютъ деревянный столбъ съ мѣткою на серебряной пластинкѣ, обозначающею конечную точку пройденной длины. Описанными пріемами достигается чрезвычайная точность. Вѣроятная погрѣшность въ измѣреніи Струве не превышаетъ 0,000001 длины всего базиса, т.-е. 0,001 миллиметра на каждый метръ.

Измѣреніе угловъ тріангуляціонной сѣти.

15. После измѣренія базиса намѣчаются вершины треугольниковъ тріангуляціонной сѣти и измѣряются углы въ этихъ вершинахъ. Чѣмъ больше треугольники, тѣмъ работа идетъ быстрѣе и тѣмъ точнѣе результаты. Такимъ образомъ, стараются образовать треугольники съ сторонами въ 10, 20 и 30 верстъ. Для обозначенія вершинъ треугольниковъ употребляются особые „тригонометрическіе сигналы". При тріангуляціи Струве такими сигналами служили переносныя пирамидальныя башни высотою въ 2—3 саж., прочно связанныя изъ деревянныхъ брусьевъ, съ вертикальною балкою въ 1 саж. длины, укрѣпленною на вершинѣ пирамиды. Эта цилиндрическая балка, выкрашенная въ черную матовую краску, и служитъ собственно сигналомъ, на который визируютъ зрительною трубою угломѣрнаго снаряда, а пересѣченіе геометрической оси ея съ земною поверхностью есть вершина соотвѣтствующаго треугольника. Когда во всѣхъ трехъ вершинахъ треугольника установлено по сигналу, то измѣряютъ всѣ три угла съ помощью большихъ и точныхъ универсальныхъ инструментовъ (объ ихъ устройствѣ и о тѣхъ трудностяхъ, съ которыми приходится имѣть дѣло при измѣреніи угловъ, говорено въ ст. „Астрономическіе инструменты"). Если тріангуляція проходитъ чрезъ лѣсистую мѣстность, то употребляютъ болѣе высокіе сигналы (выше деревьевъ); наконецъ, при очень большихъ треугольникахъ, когда отдаленные сигналы плохо видны, прибѣгаютъ къ электрическому свѣту. Такъ, напримѣръ, при французской тріангуляціи требовалось перекинуть сѣть изъ Испаніи въ Алжиръ; для этого въ Испаніи на высокомъ морскомъ берегу установили громадный электрическій фонарь; три недѣли ждали благопріятнаго состоянія атмосферы; наконецъ, однажды ночью изъ Алжира усмотрѣли слабо мерцающій на туманномъ горизонтѣ огонекъ: лучъ свѣта прошелъ съ одного берега Средиземнаго моря на другой, и Африка — страна пустынь — была, такимъ образомъ, связана невидимою сѣтью треугольниковъ съ многолюдною Европой.

Вычисленіе тріангуляціи.

16. Когда всѣ полевыя работы, или такъ называемая „лѣтняя кампанія", закончены, приступаютъ къ вычисленіямъ. Собираютъ всѣ журналы съ многочисленными записями, провѣряютъ ихъ и начинаютъ вычислять длину базиса. Работа идетъ въ такомъ порядкѣ. Сначала дѣлаютъ поправки на температуры и на наклоненія базисныхъ аппаратовъ къ горизонту, измѣренныя уровнемъ. Когда же вся длина базиса станетъ извѣстна, ее приводятъ къ уровню моря. Базисъ лежитъ на нѣкоторой высотѣ и имѣетъ длину L

(фиг. 272); если бы онъ лежалъ на уровнѣ моря, то длина его L_0 была бы меньше измѣренной длины L. Чтобы сдѣлать это приведенiе, необходимо знать высоту h базиса надъ уровнемъ моря. Слѣдовательно трiангуляцiя должна быть соединена съ моремъ посредствомъ точной нивеллировки. Для этой цѣли у насъ въ Россiи могутъ служить моря Балтiйское и Черное, но не Каспiйское, которое лежитъ во впадинѣ и не связано съ океаномъ. Получивъ истинную длину L_0 базиса, вычисляютъ сѣть треугольниковъ, при чемъ здѣсь приходится принимать во вниманiе изгибъ сторонъ ихъ, такъ какъ треугольники съ сторонами въ 10—30 верстъ, расположенные, на выпуклой поверхности земного шара, уже нельзя считать плоскими. Поэтому, вмѣсто методовъ обыкновенной прямолинейной тригонометрiи, въ этомъ случаѣ примѣняютъ болѣе сложные прiемы тригонометрiи сферической. Имѣя длины сторонъ всѣхъ треугольниковъ, вычисляютъ отрѣзки дуги меридiана, а затѣмъ и всю дугу его, заключенную между конечными пунктами трiангуляцiи.

Фиг. 272. Приведенiе базиса къ уровню моря.

17. Выше было показано, что для опредѣленiя величины земного сфероида и для вычисленiя его сжатiя необходимы по крайней мѣрѣ два градусныхъ измѣренiя, или, пожалуй, одно, но настолько длинное, чтобы успѣли ясно выступить разницы кривизны дуги меридiана въ ея сѣверныхъ и южныхъ частяхъ. Элементы земного сфероида по Бесселю и Кларку.

Еще лучшiе результаты получаются, если соединить въ одно цѣлое данныя нѣсколькихъ трiангуляцiй, и по возможности большаго числа ихъ. Такiя, въ высшей степени сложныя вычисленiя были сдѣланы много разъ.

Бессель (Friedrich Wilhelm Bessel, 1784—1846) въ 1846 г. обработалъ результаты 10 наилучшихъ градусныхъ измѣренiй и далъ числа для размѣровъ земного сфероида, которыя долгое время были общеприняты въ наукѣ. Болѣе точныя числа получилъ въ 1880 г. англiйскiй геодезистъ Кларкъ (Alexander Ross Clarke), принявъ во вниманiе позднѣйшiя измѣренiя, извѣстныя Бесселю,— и, между прочимъ, громадную Индiйскую трiангуляцiю. Вотъ эти числа (въ метрахъ):

	Бессель.	Кларкъ.
Радіусъ экватора	6377397	6378249
Полярная полуось	6356079	6356515
Сжатіе	$^1/_{299,15}$	$^1/_{293,47}$

Таковы элементы земного сфероида, выводимые изъ совокупности многихъ измѣреній. Однако, если вычислять эти элементы изъ каждой большой тріангуляціи въ отдѣльности или — соединяя тріангуляціи попарно, то получаются числа, на столько разнящіяся другъ отъ друга и отъ вышеприведенныхъ, что разницы этой нельзя объяснить ошибками измѣреній, которыя въ настоящее время производятся почти идеально-точно. И что всего болѣе удивительно — указанныя аномаліи часто выступаютъ при сравненіи измѣреній, весьма близко расположенныхъ одно отъ другого, какъ, наприм., французскаго съ англійскимъ, ганноверскаго съ прусскимъ или прусскаго съ русско-скандинавскимъ. Для объясненія этого явленія нѣкоторые ученые сдѣлали предположеніе, что земля имѣетъ фигуру трехоснаго эллипсоида, который, какъ мы говорили выше, также удовлетворяетъ условіямъ равновѣсія вращающейся жидкости. Кларкъ и нѣкоторые другіе геодезисты сдѣлали даже вычисленія, основанныя на этомъ предположеніи, получивъ размѣры этого гипотетическаго эллипсоида. Послѣдователи гипотезы хотѣли видѣть ея подтвержденіе даже въ нѣкоторыхъ геологическихъ фактахъ. Однако въ настоящее время она отвергнута почти всѣми учеными и далѣе мы увидимъ — *почему*. А теперь упомянемъ о тріангуляціяхъ по параллелямъ, которыя были предприняты для выясненія вопроса о трехосномъ эллипсоидѣ и вообще для лучшаго опредѣленія фигуры земли.

Тріангуляціи *по параллелямъ.*

18. Здѣсь опять на первомъ мѣстѣ слѣдуетъ поставить русское градусное измѣреніе по 52 параллели. Проэктированное В. Струве въ 1857 г., оно было совершенно закончено въ 1872 г. и соединено съ европейскимъ измѣреніемъ по той же параллели, начатымъ еще въ 1827 г. Вся дуга обнимаетъ громадное пространство въ 63°31′8″ по долготѣ, протягиваясь отъ Хаверфордвеста, въ Англіи, черезъ Бельгію, Германію и всю Европейскую Россію до Орска (на Уралѣ). На протяженіи русскаго отрѣзка этой дуги ($39^1/_2$° по долготѣ), измѣреннаго главнымъ образомъ русскимъ геодезистомъ генераломъ Жилинскимъ, расположены 364 треугольника съ 10 астрономически опредѣленными пунктами (Ченстоховъ, Варшава, Гродно, Бобруйскъ, Орелъ, Липецкъ, Саратовъ, Самара, Оренбургъ, Орскъ).

Другая русская тріангуляція—по $47^1/_2$° сѣв. ш. („Новороссійская"), производилась также по мысли и при участіи В. Струве въ 1849—56 г. и закончена въ 1877—90 г. Она тянется черезъ южныя губерніи отъ Кишинева до Астрахани на 19°11'55" долготы (около 1600 в.). Замѣтимъ здѣсь кстати, что элементы сфероида, вычисленные изъ этой и двухъ выше описанныхъ русскихъ тріангуляцій, весьма близки къ выводамъ Бесселя,— сжатіе получается $={}^1/_{299,7}$.

Не перечисляя всѣхъ тріангуляцій по параллелямъ, отмѣтимъ еще, что въ настоящее время производится громадное измѣреніе по 39 параллели черезъ все пространство Соединенныхъ Штатовъ Сѣверной Америки. Раньше тамъ уже было измѣрено болѣе $11^1/_2$° дуги 42-й параллели.

Опредѣленіе географическихъ долготъ.

19. Градусныя измѣренія по параллелямъ производятся совершенно такъ же, какъ и по меридіанамъ. Но вмѣсто географическихъ широтъ здѣсь приходится опредѣлять долготы,—задача болѣе затруднительная. Въ настоящее время опредѣленіе долготъ на сушѣ дѣлается очень удобно при помощи телеграфа: показаніе часовъ одного пункта передается по телеграфу въ другой пунктъ, гдѣ свѣряется съ показаніемъ мѣстныхъ часовъ, - разница временъ есть, вмѣстѣ съ тѣмъ, и разность долготъ, какъ это выяснено въ ст. „Астр. инструменты". Въ прежнее время разность долготъ опредѣляли „перенесеніемъ времени": хронометръ, свѣренный съ часами одного пункта, перевозили и свѣряли съ часами другого пункта. Такимъ образомъ, напр., было сдѣлано опредѣленіе разности долготъ между Пулковомъ и Альтоною: 68 наилучшихъ морскихъ хронометровъ было 8 разъ перевезены моремъ изъ Пулкова въ Альтону и обратно, такъ что получено 68.16=1088 отдѣльныхъ опредѣленій, при чемъ, кромѣ часовъ этихъ двухъ обсерваторій хронометры на пути свѣрялись еще съ часами морской Кронштадтской обсерваторіи и часами временной обсерваторіи, устроенной спеціально для этой цѣли въ Любекѣ. Предпріятіе это было выполнено въ теченіе 4-хъ мѣсяцевъ въ 1844 г. по иниціативѣ и подъ руководствомъ В. Струве. Вообще 40—60-ые года XIX вѣка были періодомъ самой горячей и въ высшей степени плодотворной дѣятельности этого неутомимаго ученаго (въ то же время онъ трудился и надъ устройствомъ Пулковской обсерваторіи, — см. ст. „Астр. инстр.").

Пертурбаціи въ качаніяхъ маятника.

20. Возвращаемся къ вопросу о фигурѣ земли. Тріангуляціи по параллелямъ не только не оправдали предположенія, что земля

есть математически правильный трехосный эллипсоидъ, но даже еще болѣе обнаружили аномаліи, не объяснимыя ошибками наблюденій. Кромѣ того, въ XIX в. были произведены многочисленныя работы съ маятникомъ; самымъ обширнымъ рядомъ такихъ изслѣдованій наука обязана англичанину Сэбину (Edward Sabine), труды котораго охватываютъ огромное пространство отъ 15° южной широты черезъ экваторъ до 80° сѣверной широты (островъ Шпицбергенъ). Хотя сжатіе земли, выведенное изъ совокупности многихъ наблюденій съ маятникомъ, оказывается весьма близкимъ къ числу Кларка, однако въ отдѣльныхъ случаяхъ отступленія довольно значительны,—величина сжатія колеблется отъ $^1/_{313}$ до $^1/_{282}$. Съ другой стороны, если исключить вліяніе сплюснутости сфероида, опредѣленной на основаніи лучшихъ градусныхъ измѣреній, а также дѣйствіе центробѣжной силы, съ точностью, извѣстной для каждой широты, то все-таки въ качаніяхъ маятника остаются такъ называемыя возмущенія, или пертурбаціи, величина которыхъ колеблется въ различныхъ точкахъ земной поверхности отъ +11 до −7 качаній въ сутки. Это значитъ, что въ нѣкоторыхъ мѣстахъ секундный маятникъ дѣлаетъ до 11 лишнихъ качаній въ теченіе сутокъ противъ того, какъ долженъ бы онъ качаться подъ данною географической широтою, принимая во вниманіе сжатіе сфероида и центробѣжную силу; наоборотъ, — въ нѣкоторыхъ точкахъ земли оказывается недостатокъ 7 качаній въ сутки, и, наконецъ, въ другихъ мѣстахъ величины пертурбацій имѣютъ всевозможныя значенія между этими крайними предѣлами.

При просмотрѣ списка многочисленныхъ пертурбацій секунднаго маятника, опредѣленныхъ въ различныхъ точкахъ земли, сразу бросается въ глаза, что положительныя пертурбаціи, всѣ безъ исключенія, имѣютъ мѣсто на океаническихъ островахъ, между тѣмъ, какъ отрицательныя соотвѣтствуютъ материкамъ или островамъ, лежащимъ вблизи материковъ. Такимъ образомъ, сила тяжести среди океановъ оказывается больше, чѣмъ на материковыхъ пространствахъ. Этотъ выводъ представляется тѣмъ болѣе удивительнымъ, что кажется, наоборотъ, — материки, сложенные изъ плотныхъ массъ, должны бы притягивать сильнѣе, чѣмъ сравнительно менѣе плотная вода океановъ.

Однако, этотъ, странный на первый взглядъ, фактъ послужилъ основаніемъ для объясненія всѣхъ неправильностей, замѣченныхъ какъ при изслѣдованіяхъ съ маятникомъ, такъ и при градусныхъ измѣреніяхъ.

Повышенія и пониженія уровня океановъ.

21. Прежде, чѣмъ изложить это объясненіе, мы посмотримъ, что такое поверхность земли, опредѣляемая градусными измѣреніями. Поверхность материковъ имѣетъ многочисленные изгибы; она покрыта впадинами и выпуклостями, глубокими долинами и высокими горами. Между тѣмъ, море совершенно гладко и имѣетъ постоянный уровень. Поэтому вполнѣ естественно сравнивать высоты суши съ высотою воды въ океанахъ. Уже въ учебникахъ начальной географіи мы привыкли постоянно встрѣчать выраженіе: „высота горы или плоскогорія *надъ уровнемъ моря*". Этотъ-то вполнѣ неизмѣнный уровень моря и въ геодезіи считается за истинную поверхность земного сфероида. Мы видѣли, что во время вычисленія базиса—его приводятъ къ уровню моря. Такимъ образомъ, тріангуляціей, производимою на сушѣ, опредѣляется та поверхность земли, которая получится, если мы мысленно продолжимъ уровень океановъ во всѣ стороны черезъ материки. Иначе это можно представить такъ. Вообразимъ, что материки изрѣзаны во всевозможныхъ направленіяхъ безконечно узкими каналами и вода океановъ заполнила эти каналы; поверхность, опредѣляемая уровнемъ воды во всѣхъ такихъ каналахъ, и будетъ истинною поверхностью земли.

При прежнихъ градусныхъ измѣреніяхъ думали, что поверхность океановъ, вмѣстѣ съ поверхностью уровня воды въ воображаемыхъ тонкихъ каналахъ, связанныхъ съ морями, имѣютъ фигуру математически правильнаго сжатаго эллипсоида вращенія, или сфероида. Новѣйшія тріангуляціи показали, что это не такъ, а вышеописанныя изслѣдованія качаній маятника заставили предполагать, что даже поверхность океановъ не представляетъ математически правильной формы, что и она, подобно сушѣ, имѣетъ впадины и выпуклости. Это слѣдуетъ изъ того, что иначе нельзя объяснить пертурбацій маятника, какъ допущеніемъ, что океаны въ среднихъ своихъ частяхъ имѣютъ пониженія по отношенію къ идеально-правильному сфероиду, а по мѣрѣ приближенія къ берегамъ материковъ уровень океана повышается (фиг. 273). Дѣйствительно, въ такомъ случаѣ маятникъ, помѣщенный на океаническомъ островѣ, среди впадины поверхности океана, находится ближе къ центру земли; но сила тяжести на поверхности земли увеличивается по мѣрѣ приближенія къ центру (сравн. § 8)—она, слѣдовательно, больше на островѣ, а потому движеніе маятника тамъ ускоряется, онъ, какъ мы видѣли выше, дѣлаетъ въ предѣльномъ случаѣ до 11 лишнихъ качаній въ сутки. Предположеніе объ отступленіяхъ поверхности океановъ отъ формы сфероида было подтверждено за-

тѣмъ точнѣйшими изслѣдованіями; было найдено, что пониженіе уровня океана можетъ достигать 1309 метр., какъ, напримѣръ, это имѣетъ мѣсто на островѣ Бонинъ къ востоку отъ Японіи, гдѣ пертурбація маятника какъ разъ доходитъ до максимальной величины +11; наоборотъ, повышенія морского уровня у береговъ достигаютъ величины 1104 м., такъ что разница уровней въ различныхъ мѣстахъ можетъ превышать 2000 м.

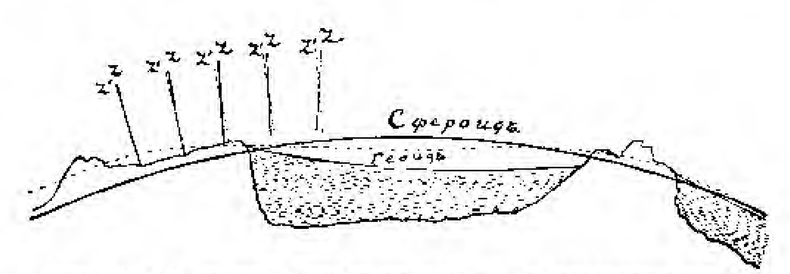
Теперь понятны несогласія въ элементахъ сфероида, выводимыхъ изъ различныхъ тріангуляцій. Такъ какъ эти тріангуляціи приведены къ уровнямъ различныхъ морей, то вычисленные элементы относятся въ сущности къ различнымъ сфероидамъ, имѣющимъ разные размѣры осей и неодинаковыя сжатія.

Уклоненія отвѣса.

22. Доказанное такимъ образомъ существованіе впадинъ и выпуклостей океана довольно просто объясняется и физически. Громадные массивы материковъ притягиваютъ къ себѣ воду океановъ, которая и повышается у береговъ, образуя вдали отъ материковъ соотвѣтствующія впадины.

Но почему же это явленіе такъ долго оставалось не замѣченнымъ, несмотря на разнообразные методы изслѣдованія, которыми обладаетъ современная наука, несмотря на примѣненіе при изслѣдованіяхъ совершеннѣйшихъ инструментовъ? Это объясняется вотъ чѣмъ. Единственное неизмѣнное и легко опредѣляемое направленіе, характеризующее каждую данную точку земной поверхности, есть направленіе отвѣсной *линіи*. Къ нему мы относимъ всѣ другія направленія, по отвѣсу устанавливаемъ свои измѣрительные инструменты. Но отвѣсная линія есть ни что иное, какъ направленіе равнодѣйствующей всѣхъ силъ притяженія, дѣйствующихъ въ данной точкѣ земной поверхности. Притяженіе материка, состоящаго изъ массивныхъ горныхъ породъ, больше притяженія водяной массы океана, а потому вблизи береговъ равнодѣйствующая силъ притяженія—иначе говоря, отвѣсная линія—уклоняется въ сторону материка, какъ это показано на фиг. 273, гдѣ *истинныя направленія отвѣсныхъ линій обозначены сплошными—прямыми* ZZ, а направленія, соотвѣтствующія сфероиду,—пунктирами $Z'Z'$. Какъ замѣчено раньше, поверхность жидкости всегда перпендикулярна къ равнодѣйствующимъ силъ притяженія; такимъ образомъ, уклоненія отвѣсной линіи и служатъ причиною искривленій уровня океана (на фиг. 273 этотъ уровень вездѣ перпендикуляренъ къ прямымъ ZZ). Такъ какъ этому механическому закону подчиняется, конечно, поверхность всякой жидкости, находящейся въ данной точкѣ земли, т. е., напр., и поверхность

жидкости, налитой въ сосудъ, то гипотетическое направленіе отвѣсныхъ линій $Z'Z'$, перпендикулярныхъ къ поверхности сфероида, не можетъ, очевидно, быть найдено при помощи того „уровня съ воздушнымъ пузырькомъ", по которому устанавливаются измѣрительные инструменты, такъ какъ поверхность жидкости въ трубкѣ этого прибора перпендикулярна именно къ истиннымъ направленіямъ вертикалей ZZ,—въ каждой точкѣ земли она имѣетъ совершенно тотъ же уклонъ, какъ и поверхность воды въ океанѣ или въ тѣхъ безконечно тонкихъ каналахъ, о которыхъ упоминалось выше. Замѣтивъ, что, по предложенію ученаго Листинга, истинная фигура земли, опредѣляемая поверхностью воды въ океанахъ и безконечно тонкихъ каналахъ, со всѣми ея выпуклостями и впадинами, называется *геоидомъ*, мы скажемъ короче, что уровнемъ (приборомъ) опредѣляется поверхность геоида, а не того или другого сфероида, выводимаго изъ градусныхъ измѣреній.



Фиг. 273. Пониженіе уровня океана и относительное положеніе сфероида и геоида.

Но представляется вопросъ, какимъ же образомъ найдены уклоненія отвѣса, когда всѣ инструменты, которыми производятся наблюденія, оріентируются тѣмъ же отвѣсомъ или — все равно — уровнемъ? Для выясненія этого обратимся къ фиг. 269. При началѣ тріангуляціи опредѣляется широта въ начальномъ пунктѣ A; пользуясь ею и элементами треугольниковъ, расположенныхъ между A и какою-нибудь точкой K, можно вычислить широту въ K. Подобнымъ образомъ теоретически опредѣляются широты и во всѣхъ другихъ точкахъ тріангуляціи. Эти вычисленныя широты называются геодезическими. Въ тѣхъ же точкахъ опредѣляютъ затѣмъ непосредственными наблюденіями и широты географическія. Разницы между тѣми и другими и суть отклоненія отвѣса.

Возмущенія отвѣсной линіи внутри материковыхъ пространствъ.

23. Возмущенія отвѣса у морскихъ береговъ колеблются въ предѣлахъ отъ 24″ до 138″, т. е. бываютъ болѣе $2^1/_2{}'$, — вели-

чина громадная, принимая въ соображеніе точность современной астрономіи. Кромѣ материковыхъ массъ, горы своимъ притяженіемъ также производятъ значительныя (въ среднемъ 25″) отклоненія отвѣса, какъ это найдено при изысканіяхъ въ Швейцаріи, Индіи, въ Перуанскихъ Кордильерахъ, у насъ на Кавказѣ и въ Крыму и во многихъ другихъ мѣстахъ. Наконецъ, встрѣчаются удивительныя возмущенія отвѣсной линіи даже въ совершенно ровныхъ мѣстностяхъ.

Одинъ изъ замѣчательныхъ случаевъ этого рода представляютъ окрестности Москвы. Москва расположена въ центрѣ равнины, вдали отъ горъ, однако Швейцеръ (Gottfried Schweizer; † 1873), покойный директоръ Московской обсерваторіи, открылъ въ окрестностяхъ Москвы рядъ значительныхъ возмущеній линіи отвѣса. Была произведена точная тріангуляція и оказалось, что поясъ возмущеній занимаетъ пространство вытянутой овальной формы съ поперечною осью съ сѣвера на югъ незначительной длины, такъ что едва захватываетъ сѣверныя и южныя предмѣстья города (на югѣ касается Воробьевыхъ горъ); напротивъ, протяженіе этой области съ востока на западъ значительно больше, — на 50 — 60 верстъ въ обѣ стороны отъ города. Наблюдаемыя уклоненія достигаютъ 10 — 12 и даже 17″ и не могутъ быть приписаны ошибкамъ наблюденій, которыя во всякомъ случаѣ не болѣе 0″,5. Уклоненія происходятъ въ томъ смыслѣ, что притяженіе внутри указаннаго контура меньше нормальнаго: отвѣсъ уклоняется во внѣшнюю сторону. Слѣдовательно, будь Россійская равнина покрыта моремъ (или изрѣзана тонкими каналами), поверхность воды надъ Москвою образовала бы впадину. Для объясненія описаннаго факта предложена была гипотеза, что подъ Москвою находятся пласты каменнаго угля, плотность котораго меньше общей плотности земного шара. Отсюда же возникъ слухъ, что подъ Москвою, внутри земной коры, находится громадная пустота. Это предположеніе, конечно, тоже удовлетворяетъ наблюденнымъ явленіямъ.

Типическій сфероидъ Листинга. 24. Итакъ, форма земли не можетъ быть представлена правильною математическою фигурой. Земля есть геоидъ, съ неправильно искривленною поверхностью, что зависитъ отъ неправильно распредѣленныхъ, внутри земли и на ея поверхности, массъ различной плотности. Такимъ образомъ, что же слѣдуетъ считать радіусомъ земли, играющимъ такую важную роль во многихъ исчисленіяхъ теоретической астрономіи? Самъ собою представляется отвѣтъ, что элементами геоида надо считать элементы такой правильной геоме-

трической фигуры, которая по размѣрамъ и по формѣ ближе всего подходила бы къ геоиду. Такою фигурой оказывается опять-таки сжатый эллипсоидъ вращенія. Листингъ (Listing, † 1882) показалъ, что удобнѣе всего взять эллипсоидъ вращенія такихъ размѣровъ, чтобы поверхность его лежала частью выше поверхности геоида, частью ниже, и притомъ удовлетворяла бы тому условію, чтобы сумма повышеній была равна суммѣ пониженій (фиг. 266). Листингъ назвалъ такую фигуру *типическимъ сфероидомъ земли* и нашелъ для него слѣдующія постоянныя (въ метрахъ), называемыя „постоянными Листинга“:

Экваторіальный радіусъ	6377377
Полярная полуось.	6355270
Сжатіе.	$^1/_{288{,}48}$
Длина секунднаго маятн. на экваторѣ.	0,9909848
„ „ „ „ полюсѣ. .	0,9961495

Длина сек. маятн. на шир. φ: $l_\varphi = 0{,}9909848 + 0{,}0051447 \sin^2\varphi$.

25. Такъ какъ въ Европѣ — наибольшее число точныхъ измѣреній, то для нея скорѣе всего можно вывести форму поверхности, ближе всего представляющую всѣ изгибы геоида. Поэтому въ Зап. Европѣ, по предложенію прусскаго геодезиста Байера (Bäyer), вызвано къ жизни „Европейское градусное измѣреніе“, въ которомъ приняли участіе всѣ европейскія государства, кромѣ Греціи и Турціи. Главное управленіе сосредоточено въ постоянной комиссіи, состоящей изъ 9 выборныхъ членовъ. Центральное бюро находится въ Берлинѣ. Наиболѣе важные вопросы обсуждаются на международныхъ геодезическихъ конгрессахъ, созываемыхъ каждые 3 года въ различныхъ городахъ Европы. Кромѣ градусныхъ измѣреній, это учрежденіе производитъ также измѣренія напряженія силы тяжести, точныя нивеллировки и пр. Бюро издаетъ два печатныхъ органа („Verhandlungen der permanenten Commission der Europäischen Gradmessung“ и „Verhandlungen der Internationalen Erdmessung“). **Европейское градусное измѣреніе.**

26. Въ заключеніе обратимъ вниманіе на тотъ масштабъ, въ которомъ выражаются уклоненія фигуры земли отъ формы геометрически правильнаго шара. Представимъ себѣ сдѣланный изъ какого-нибудь матеріала правильный шаръ съ діаметромъ въ 1 метръ. Чтобы сдѣлать изъ этого шара сфероидъ Листинга, пришлось бы у обоихъ полюсовъ шара сточить слой вещества толщиной каждый въ $^1/_{288{,}48}$ часть радіуса, т. е. менѣе чѣмъ въ 2^{mm}. При самомъ **Относительные размѣры неправильностей фигуры земли.**

тщательномъ осмотрѣ трудно было бы замѣтить существованіе такой ничтожной сплюснутости. Далѣе, чтобы изъ сфероида получить геоидъ, надо въ нѣкоторыхъ частяхъ нашего твердаго тѣла, представляющаго землю, еще сшлифовать тончайшіе слои вещества, въ максимальномъ случаѣ достигающіе толщины лишь $^1/_{3000}$ части радіуса, т. е. $^1/_6{}^{mm}$. Таковы относительные размѣры неправильностей фигуры земного шара.

Л. Серебряковъ.

Библіографія.

В. Уэвелль. Исторія индуктивныхъ наукъ. Спб. 1867. Т. I.

Франсуа Араго. Общепонятная астрономія. Переводъ Хотвнскаго. Спб. 1861. Т. III, книга 20, „Земля".

К. Шарнгорстъ, проф. Введеніе въ астрономію. 2-е изд. Спб. 1893. Цѣна 2 р. 50 к. Глава XIII. Опредѣленіе величины и фигуры земли изъ градусныхъ измѣреній.

И. В. Мушкетовъ. Физическая геологія. Спб. 1891. Т. I. Глава II—„Фигура земли".

В. Витковскій. Практическая геодезія. Спб. 1898. Ц. 5 рублей. Главы I, II, III, V и VI.

Энциклопедическій словарь Брокгауза и Ефрона. Статья „Градусныя измѣренія".

Броуновъ. Очеркъ современнаго состоянія вопроса о формѣ земли. Кіевск. Универс. Извѣстія. 1891 г. № 9.

А. Ждановъ. О русскихъ градусныхъ измѣреніяхъ. Изв. Импер. Русскаго Географ. Общ. 1893.

45. Строеніе звѣзднаго міра.

1. Когда въ наукѣ еще владычествовала система Птоломея, тогда относительно разстоянія планетъ и звѣздъ отъ насъ ровно ничего не было извѣстно; вслѣдствіе особенностей этой системы даже *не требовалось знать этихъ разстояній*, такъ что никто изъ астрономовъ не думалъ да и не могъ думать, чтобы неподвижныя звѣзды были въ безконечное почти число разъ больше удалены, чѣмъ планеты.

Годичный параллаксъ первыя попытки его опредѣленія.

Когда же міру была возвѣщена система Коперника, то ничто такъ не *мѣшало правильному* водворенію ея, какъ то обстоятельство, что наблюденія того времени не обнаружили перемѣщенія неподвижныхъ звѣздъ, зависящаго отъ годичнаго перемѣщенія земли около солнца, между тѣмъ какъ изъ системы Коперника такое перемѣщеніе логически неизбѣжно вытекало. Дѣйствительно, разъ земля перемѣщается — какъ училъ Коперникъ — въ своемъ движеніи около солнца на такое огромное разстояніе, то, очевидно, неподвижныя звѣзды, будучи разсматриваемы съ различныхъ точекъ земной орбиты, удаленныхъ другъ отъ друга на большія разстоянія, должны были *видимо* перемѣщаться по небу, представляющему собою весьма удаленную поверхность. Разъ же *никакого* перемѣщенія нѣтъ, то заключеніе о неподвижности земли было неизбѣжно; даже великаго астронома-наблюдателя Тихо Браге это обстоятельство побудило не признавать системы Коперника. Понятно, когда открыта была зрительная труба и представилась возможность измѣрять на небѣ самыя малыя угловыя величины, то послѣдователи Коперника стали прилагать всѣ старанія къ тому, чтобы открыть выше разсмотрѣнное перемѣщеніе, которое вно-

слѣдствіи получило названіе *годичнаго параллакса* неподвижныхъ звѣздъ [1]). Этими изслѣдованіями занимались знаменитѣйшіе астрономы-наблюдатели: Гукъ, Рёмеръ, Брадлей (Hooke, Römer, Bradley). Однако, вслѣдствіе несовершенства инструментовъ и методовъ наблюденій, этимъ изслѣдователямъ удалось лишь открыть фактъ существованія параллакса, самую же величину этого параллакса за годичный періодъ они опредѣлить не могли.

Опредѣленіе параллакса звѣзды 61 Лебедя Бесселемъ.

2. Первый, который съ достаточною точностью открылъ параллаксъ одной неподвижной звѣзды, былъ знаменитый кенигсбергскій астрономъ Бессель (Bessel). Предметомъ для наблюденій онъ избралъ двойную звѣзду 61 Лебедя. Онъ нашелъ параллаксъ болѣе яркаго компонента этой двойной звѣзды равнымъ 0″,348. Впослѣдствіи наблюденія Отто Струве (O. Struve) и Ауверса (Auwers) показали, что этотъ параллаксъ немного больше: онъ равенъ одной полусекундѣ. Изъ вышесказаннаго нетрудно убѣдиться, что въ сущности годичный параллаксъ есть тотъ уголъ, подъ которымъ изъ звѣзды, разсматриваемой какъ неподвижная точка, виденъ [2]) радіусъ земной орбиты [3]).

Разъ же уголъ этотъ извѣстенъ, извѣстно также положеніе разсматриваемой звѣзды, и, наконецъ, дана величина діаметра земной орбиты, то—на основаніи элементарныхъ геометрическихъ соображеній—нетрудно вычислить разстоянія разсматриваемой звѣзды отъ солнца или земли. (Замѣтимъ, что, въ виду огромнаго разстоянія звѣзды отъ солнца и сравнительной ничтожности разстоянія земли отъ солнца, можно считать одинаковыми разстоянія звѣзды отъ солнца и отъ земли). Такимъ образомъ, найдено, что параллаксу 61 Лебедя соотвѣтствуетъ разстояніе въ 412500 радіусовъ земной орбиты. Такое разстояніе свѣтовой лучъ проходитъ въ $6\frac{1}{2}$ лѣтъ.

Дальнѣйшія работы по опредѣленію годичнаго параллакса звѣздъ.

3. Одновременно съ Бесселемъ, другой знаменитый астрономъ В. Струве (F. G. W. Struve), въ Дерптѣ, опредѣлялъ параллаксъ звѣзды α Лиры и нашелъ его равнымъ одной четверти секунды. Послѣ Струве и Бесселя опредѣленіемъ параллакса неподвижныхъ звѣздъ занимались астрономы Гендерсонъ, Петерсъ (Henderson, Peters) и многіе другіе. Всѣ эти астрономы пользовались однимъ и тѣмъ же способомъ для опредѣленія параллакса неподвижныхъ

---

[1]) См. „Астр. инстр." II, 40.

[2]) Галь (A. Hall) разъ наблюдалъ 26-дюймовымъ рефракторомъ и получилъ величину параллакса этой звѣзды равную 0″,27. Притчардъ (Pritchard) при помощи фотографіи опредѣлилъ этотъ параллаксъ въ 0″,43.

[3]) Орбита земли едва замѣтно отличается отъ окружности.

звѣздъ; сущность этого способа заключалась въ слѣдующемъ: опредѣлялось микрометрическимъ путемъ [1]) разстояніе звѣзды, параллаксъ которой искали, отъ сосѣднихъ звѣздъ, параллаксы которыхъ были завѣдомо ничтожныя величины, и такимъ образомъ опредѣлялся *относительный* параллаксъ звѣзды, мало отличный отъ абсолютнаго. Впрочемъ, Петерсъ дѣлалъ также попытку опредѣленія абсолютнаго параллакса звѣздъ. Въ настоящее время извѣстны съ достаточной точностью параллаксы около двадцати звѣздъ. Изъ всѣхъ этихъ звѣздъ наибольшій параллаксъ имѣетъ звѣзда α Центавра; онъ равенъ 0″,75, чему соотвѣтствуетъ разстояніе, проходимое свѣтовымъ лучемъ въ 4 года. Такимъ образомъ, ближайшею къ намъ звѣздой считается пока α Центавра.

Все вышесказанное убѣждаетъ насъ въ томъ, что разметанныя по небу въ неисчислимомъ количествѣ неподвижныя звѣзды — эти огромныя солнца — отстоятъ отъ насъ и другъ отъ друга на такихъ разстояніяхъ, для которыхъ человѣческій умъ еле можетъ подобрать подходящій масштабъ. Мы видимъ, такимъ образомъ, что во всей этой необъятной вселенной совокупная солнечная система наша представляетъ ничтожную пылинку, и какую же послѣ этого роль можетъ играть въ міровомъ процессѣ наша земля и на ней человѣкъ? Тѣмъ не менѣе, человѣку, этой ничтожной во вселенной пылинкѣ изъ пылинокъ, данъ драгоцѣнный даръ, дѣлающій его какъ бы первостепеннымъ соучастникомъ дивной міровой жизни; этотъ даръ есть врожденныя человѣку влеченіе и способность широко и глубоко вникать въ строй вселенной и его познавать.

Густота распредѣленія звѣздъ.

4. Стремленіе изучать строй звѣздной системы стало осуществляться съ особенною силой, естественно, послѣ открытія зрительной трубы. Среди астрономовъ, особенно усердно поработавшихъ въ этомъ направленіи путемъ непосредственныхъ наблюденій, слѣдуетъ назвать Гершеля-отца (W. Herschel), который „взоромъ проникъ во вселенную глубже, чѣмъ кто-либо отъ смертныхъ". Всѣ наблюденія относительно густоты распредѣленія звѣздъ показали, что эта густота является возрастающею по мѣрѣ приближенія звѣздъ къ той бѣлой полосѣ небесной, которую мы называемъ млечнымъ путемъ. Слѣдующую часть нашего очерка мы и посвятимъ главнымъ образомъ разсмотрѣнію млечнаго пути.

Древнѣйшія объясненія и наблюденія млечнаго пути.

5. Названіе „млечный путь" — самое распространенное, хотя встрѣчаются и иныя названія, напримѣръ, „небесный поясъ",

[1]) См. „Астр. инстр." II, 40, 28.

„старый солнечный путь“, „бѣлый путь“ и проч. До открытія зрительной трубы существовали самыя превратныя представленія о сущности млечнаго пути. Въ періодъ древней исторіи это явленіе служило, даже среди культурныхъ народовъ, темой для различныхъ мифовъ и вѣрованій. Такъ, среди грековъ распространенъ былъ мифъ, по которому млечный путь представляетъ собою молоко, которое кормилица Зевса нечаянно пролила по небу. По иному вѣрованію млечный путь возникъ при созданіи вселенной, когда оба полушарія небеснаго свода накладывались другъ на друга, но при этомъ между ними осталась небольшая скважина, чрезъ которую просвѣчиваетъ вѣчный огонь, окружающій небо. Однако, уже въ древности мы встрѣчаемъ имена нѣкоторыхъ точныхъ изслѣдователей, которые, необычайно тщательно наблюдая млечный путь, аккуратно описываютъ его, разумѣется, въ томъ только видѣ, въ какомъ онъ представляется для невооруженнаго глаза. Такъ, напримѣръ, наблюденіями млечнаго пути занимались Аристотель и Птоломей. Наблюденія послѣдняго особенно аккуратны; мѣстами эти наблюденія отличаются такою точностью, что до сихъ поръ ничего лучшаго въ этомъ отношеніи не сдѣлано.

Новѣйшія изслѣдованія. 6. Вслѣдствіе особо сложившагося склада развитія науки, астрономы пренебрегали какъ-то послѣ Птоломея наблюденіями млечнаго пути, почти до начала текущаго столѣтія. До недавняго времени не только отсутствовали болѣе или менѣе точныя описанія млечнаго пути, но и изображенія его при помощи рисунковъ. Послѣднее обстоятельство объясняется, впрочемъ, необычайною трудностью улавливанія разныхъ свѣтовыхъ оттѣнковъ млечнаго пути и ихъ изображенія графическимъ путемъ. Такимъ образомъ, до начала нынѣшняго десятилѣтія существовало лишь два порядочныхъ рисунка млечнаго пути: Гейса (Heis) и Гузо (Houzeau). Но недавно появились въ свѣтъ почти одновременно двѣ новыхъ карты млечнаго пути, труды астрономовъ Истона (Easton) и Бэддикера (Böddicker). Обѣ эти карты являются результатомъ многихъ добросовѣстныхъ и кропотливыхъ трудовъ обоихъ астрономовъ.

Однако, если сравнить между собою всѣ эти карты, то онѣ обнаруживаютъ нѣкоторыя различія. Такъ, напримѣръ, въ картѣ Гузо замѣтна наклонность автора изображать млечный путь въ видѣ туманныхъ пятенъ на подобіе кучевыхъ облаковъ; у Бэддикера же изображенія млечнаго пути являются у краевъ изрѣзанными, какъ будто тонкіе лучеобразные выступы исходятъ изъ основной млечной массы. Причину этихъ различій слѣдуетъ, прежде всего, искать

въ различіи оптическихъ способностей зрѣнія этихъ астрономовъ. Главная же причина этого различія кроется, несомнѣнно, въ психическихъ особенностяхъ астрономовъ-наблюдателей.

Однако, надо замѣтить, что всѣ эти замѣчаемыя различія касаются лишь тонкихъ деталей. Общая же картина млечнаго пути приблизительно одинакова во всѣхъ этихъ картахъ. Она представляется въ видѣ безпорядочнаго скопленія болѣе или менѣе яркихъ свѣтовыхъ пятенъ, соединяющихся въ одну свѣтовую полосу, охватывающую весь небесный сводъ. Ширина этой полосы въ среднемъ равна одиннадцати луннымъ діаметрамъ. Эта полоса, впрочемъ, не на всемъ своемъ протяженіи имѣетъ сплошную непрерывную форму. Въ нѣкоторыхъ частяхъ яркія пятна являются разрозненными, отдѣленными совершенно темными прогалинами, какъ, напримѣръ, въ созвѣздіи: „Корабль Арго" и друг. Кромѣ того, на значительномъ разстояніи полоса млечнаго пути тянется раздвоенною на двѣ отдѣльныхъ вѣтви. Кругъ, представляющій собою середину млечнаго пути, наклоненъ къ небесному экватору на 63°; этотъ кругъ дѣлитъ поверхность небеснаго свода на двѣ части, не совсѣмъ равновеликихъ. Эти части относятся другъ къ другу, какъ 8 къ 9.

Въ такомъ приблизительно видѣ млечный путь представляется для глаза невооруженнаго. Разсмотримъ теперь, какія новыя черты врисовываются въ оптическую картину млечнаго пути благодаря телескопу, фотографической пластинкѣ и спектроскопу. Когда Галилеемъ (Galilei) впервые телескопъ направленъ былъ на млечный путь, то оказалось, что безчисленное множество мелкихъ звѣздъ скучены на всемъ его протяженіи. Полвѣка спустя другой великій астрономъ Гюйгенсъ (Huygens), усматривая въ млечномъ пути то же, что и Галилей, высказываетъ уже предположеніе, что сіяніе всей млечной полосы въ сильные телескопы, несомнѣнно, разлагается на кучи звѣздъ. Замѣтимъ, впрочемъ, что это предположеніе еще въ древности было высказано философомъ-атомистомъ Демокритомъ. Но такое воззрѣніе на оптическую сущность млечнаго пути, котораго до послѣдняго времени придерживались и многіе другіе астрономы, было, однако, съ научной стороны мало обосновано, и лишь изысканія послѣднихъ лѣтъ, продѣланныя со всею строгою точностью астрономической дисциплины, способствовали нѣкоторому выясненію оптической картины млечнаго пути. Къ изложенію сущности этихъ новѣйшихъ изысканій мы теперь и перейдемъ.

7. Прежде всего было обращено вниманіе на то, вообще согласуется ли упомянутое воззрѣніе съ данными физіологіи, т. е., былъ по- **Предѣлъ видимости звѣздъ.**

ставленъ такой вопросъ: можетъ ли невооруженному глазу казаться свѣтящеюся поверхностью то, что въ трубу разрѣшается на сумму звѣздъ? Чтобы отвѣтить на этотъ вопросъ, пришлось прибѣгнуть къ нѣкоторымъ соображеніямъ изъ области физіологіи. Извѣстно, что зрѣніе обусловливается тѣмъ, что извѣстнымъ частямъ зрительнаго нерва, такъ называемымъ колбочкамъ сѣтчатки, сообщается колебательное движеніе со стороны свѣтовыхъ волнъ. Величина діаметра этихъ колбочекъ колеблется между 0,0015 и 0,003 миллиметра, такъ что на одномъ квадратномъ миллиметрѣ центральной части сѣтчатки можно насчитать 100000 такихъ колбочекъ. Для того, чтобы какая-либо свѣтящаяся точка отпечатлѣлась въ глазѣ, необходимо, чтобы свѣтъ ея былъ настолько силенъ, чтобы онъ привелъ въ колебаніе хоть одну колбочку. Такъ какъ интенсивность свѣта сообщается всей поверхности колбочки, то ясно, что какъ бы ни былъ малъ свѣтящійся предметъ, онъ для глаза никогда не покажется меньше, чѣмъ тотъ предметъ, коего изображеніе на сѣтчаткѣ имѣетъ размѣръ колбочки, т. е. размѣръ кружечка діаметра отъ 0,0015 до 0,003 миллиметра. Найдено, что въ такомъ размѣрѣ усматривается глазомъ предметъ, величиной приблизительно въ одинъ миллиметръ на разстояніи отъ 10 до 5 метровъ, что соотвѣтствуетъ углу зрѣнія отъ 20 до 40 секундъ.

Далѣе ясно, что двѣ точки, сравнительно близкія, только тогда могутъ быть отдѣльно усматриваемы, когда онѣ отражаются на различныхъ элементахъ сѣтчатки. Если считать среднее разстояніе между двумя колбочками равнымъ 0,0026 миллиметра, то—какъ показываетъ вычисленіе—глазъ *можетъ* усмотрѣть раздѣльно двѣ точки при углѣ зрѣнія, равномъ 36 секундамъ. Таковой должна была быть—на основаніи *теоретическихъ* соображеній—свѣточувствительность нормальнаго глаза. Но въ дѣйствительности она оказывается слабѣе: двѣ удаленныя точки только тогда усматриваются *раздѣльно*, когда угловое разстояніе между ними равно 60 секундамъ. Это несогласіе теоретическихъ выводовъ съ дѣйствительностью объясняется особымъ дѣйствіемъ атмосферныхъ условій. Изъ всего сказаннаго логически вытекаетъ, что темный фонъ, удаленный на большое разстояніе отъ наблюдателя, усыпанный свѣтящимися точками, отстоящими другъ отъ друга на разстояніи 60 секундъ, долженъ представляться въ видѣ поверхности, *сплошь* освѣщенной. Такимъ образомъ, дѣйствительно, обнаруживается *возможность* объяснить сплошное сіяніе млечнаго пути множествомъ весьма близкихъ звѣздъ, разсыпанныхъ по темному небесному фону. Было бы

однако, преждевременно еще сдѣлать заключеніе, что сіяніе млечнаго пути *дѣйствительно* такимъ образомъ возникаетъ. Для того, чтобы возможно полнѣе рѣшить вопросъ объ оптической сущности млечнаго пути, мы должны обратиться къ выводамъ, достигаемымъ при помощи иныхъ наблюдательныхъ средствъ.

Изученіе млечнаго пути при помощ телескопа.

8. Такимъ средствомъ, разумѣется, раньше всего является телескопъ; этотъ снарядъ, какъ извѣстно, является орудіемъ, увеличивающимъ уголъ зрѣнія между свѣтилами и усиливающимъ величину ихъ яркости, и отъ него естественно было бы ожидать нѣкотораго выясненія оптической сущности млечнаго пути. Астрономы, дѣйствительно, много трудились въ дѣлѣ телескопическаго изученія млечнаго пути. По почину обоихъ Гершелей, которые почти всю свою жизнь посвятили изученію млечнаго пути, еще цѣлая фаланга знаменитѣйшихъ астрономовъ Стараго и Новаго Свѣта направляли и направляютъ свои гигантскія трубы на свѣтлый небесный поясъ. Но въ результатѣ какъ наблюденія Гершелей, такъ и новѣйшія наблюденія Проктора (Proctor), Истона и другихъ привели къ одному и тому же выводу: по мѣрѣ возрастанія оптической силы трубы, хотя растетъ число отдѣльныхъ видимыхъ звѣздъ, однако, *окончательно* млечное сіяніе не разрѣшается.

Примѣненіе фотографіи.

9. Такимъ образомъ, телескопическія наблюденія оказываются недостаточными для опредѣленія оптической сущности млечнаго пути. Но для изученія подробностей небесныхъ изображеній астрономы пользуются въ послѣднія нѣсколько лѣтъ методомъ болѣе чувствительнымъ, чѣмъ телескопическій, — методомъ фотографированія. Услуга, оказываемая фотографіей астроному, заключается главнымъ образомъ въ томъ, что фотографическая пластинка запечатлѣваетъ на себѣ тѣ изображенія, которыя не въ состояніи усматривать глазъ человѣческій, вооруженный даже сильнѣйшею трубой. Это преимущество фотографической пластинки предъ человѣческимъ глазомъ основано на особомъ свойствѣ пластинки суммировать свѣтовое впечатлѣніе: чѣмъ больше времени на пластинку падаютъ лучи какого-нибудь свѣтила [5]), тѣмъ все явственнѣе вырисовывается изображеніе этого свѣтила. Лучъ, постепенно падая на какую-нибудь опредѣленную точку пластинки, въ концѣ концовъ запечатлѣваетъ на ней изображеніе звѣзды. Такимъ образомъ, чѣмъ дольше пластинка экспонируется, тѣмъ болѣе увеличивается число запечатлѣваемыхъ звѣздъ.

---

5) См. „Фотографія" I, 15, 20.

Въ послѣднее время многіе астрономы ревностно фотографировали различныя части млечнаго пути; особенно усердно въ этомъ направленіи работали Вольфъ (Wolf) въ Гейдельбергѣ и Варнардъ (Barnard) въ Ликской обсерваторіи, Каптейнъ (Kaptein) въ Гронингенѣ, Костинскій въ Пулковѣ. Многочисленныя фотограммы показали, что по мѣрѣ возрастанія числа запечатлѣваемыхъ звѣздъ, на пластинкѣ одновременно яснѣе вырисовываются бѣлыя, неразлагаемыя пятна. Это обстоятельство побудило астрономовъ Клейна (Klein) и Истона высказать свое убѣжденіе, что млечный путь вообще *не* разлагается.

Спектроскопированіе млечнаго пути.

10. Замѣтимъ, наконецъ, что для изслѣдованія оптической сущности млечнаго пути былъ примѣненъ еще одинъ методъ, съ большимъ успѣхомъ въ послѣднее время примѣняемый въ астрономической практикѣ. Это—методъ спектроскопированія.

Результаты спектроскопированія млечнаго пути обнаруживаютъ непрерывные спектры весьма многихъ отдѣльныхъ звѣздъ, между тѣмъ какъ спектровъ туманностей еще не удалось усмотрѣть; однако, изъ этого нельзя еще сдѣлать заключеніе, что сіяніе млечнаго пути *цѣликомъ* разрѣшается на отдѣльныя звѣзды; изъ этого вытекаетъ лишь то, что если туманная масса вообще составляетъ основную часть млечнаго пути, то интенсивность ея блеска настолько мала, что она недоступна для спектроскопическихъ изслѣдованій, такъ какъ звѣзды ниже девятой величины, при всей свѣточувствительности спектроскопа, не поддаются при помощи послѣдняго изслѣдованіямъ.

Млечный путь въ оптическомъ отношеніи.

11. Все вышесказанное даетъ намъ возможность сдѣлать слѣдующее заключеніе: съ оптической стороны млечный путь, разсматриваемый *вооруженнымъ* глазомъ, представляетъ собою совокупность множества звѣздъ и неразлагаемой туманной массы; и это заключеніе, какъ мы уже знаемъ, всего яснѣе доказывается методомъ фотографическихъ изслѣдованій. Можетъ ли эта туманная масса участвовать также въ томъ сплошномъ бѣломъ сіяніи, которое мы усматриваемъ *невооруженнымъ* глазомъ? Очевидно, нѣтъ, ибо невооруженный глазъ, усматривающій звѣзды лишь до шестой величины, гораздо менѣе свѣточувствителенъ, чѣмъ спектроскопъ; спектроскопу же, какъ мы знаемъ, эти туманныя пятна недоступны.

Замѣтимъ, что въ послѣднее время, въ интересахъ изслѣдованія сущности сіянія млечнаго пути, помимо спектроскопированія и фотографированія, *производятся* и *другія изысканія*: такъ, напримѣръ, производятъ чрезвычайно кропотливую, связанную съ не-

обычайною тратой энергіи работу, состоящую въ непосредственномъ сосчитываніи числа звѣздъ, до извѣстной величины въ различныхъ частяхъ млечнаго пути, и въ опредѣленіи количества свѣта, ими посылаемаго, затѣмъ, по относительному распредѣленію этого свѣта на различныхъ частяхъ млечнаго пути, стараются судить объ оптической сущности млечнаго пути.

Но всѣ эти изысканія, широко и глубоко задуманныя, ничего пока не прибавили къ тѣмъ двумъ выводамъ, которые мы выше привели. Разсмотрѣвъ, такимъ образомъ, въ общихъ чертахъ оптическую сущность млечнаго пути, перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію *космической* его сущности, т.-е. къ вопросу о томъ, каково расположеніе млечнаго пути во вселенной и каково расположеніе звѣздъ внутри млечнаго пути.

Космическая сущность млечнаго пути.

12. Первый шагъ къ изслѣдованіямъ этого вопроса, болѣе или менѣе основанный на научныхъ астрономическихъ началахъ, былъ сдѣланъ англійскимъ астрономомъ Райтомъ (Wright). Его воззрѣнія основаны, главнымъ образомъ, на результатахъ наблюденій млечнаго пути, въ то время извѣстныхъ, и хотя Райтъ при своихъ выводахъ прибѣгалъ къ методу сужденій по аналогіи, особенно, когда наблюденія оказывались недостаточными для рѣшенія той или другой особенности разсматриваемаго вопроса, однако воззрѣнія Райта имѣютъ весьма важное значеніе въ исторіи развитія этого вопроса; они послужили основою всѣхъ дальнѣйшихъ изслѣдованій въ этомъ направленіи. Замѣтимъ, что теорія Райта извѣстна, обыкновенно, подъ именемъ теоріи Канта, такъ какъ знаменитый кенигсбергскій философъ подробно изложилъ ее въ своемъ сочиненіи: „Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels“.

Райту извѣстно было (разумѣется, не достовѣрно), что сіяніе млечнаго пути является результатомъ соединеннаго свѣченія неисчислимаго множества звѣздъ. Отсюда онъ заключилъ, что звѣздная система сгруппирована почти только въ области видимой бѣлой полосы. Такъ какъ ему также извѣстно было, что кругъ, проходящій чрезъ середину млечнаго пути, дѣлитъ почти пополамъ небесный сводъ, т.-е. этотъ кругъ представляетъ то, что называютъ большимъ кругомъ сферы, то Райтъ въ этомъ обстоятельствѣ усмотрѣлъ нѣкоторую *аналогію* между млечнымъ путемъ и другимъ большимъ кругомъ на небѣ, возлѣ котораго движутся всѣ большія планеты солнечной системы, другими словами, усмотрѣлъ аналогію между млечнымъ путемъ и эклиптикой. Такимъ образомъ, Райтъ сдѣлалъ заключеніе, что подобно тому, какъ солнечная система составляетъ

плоскій слой, охватывающій плоскость эклиптики, такъ и звѣздная система, т.-е. видимая вселенная, представляетъ собою плоскій круговой слой, внутри котораго находится солнечная система, а потому усматриваемый на небѣ въ видѣ кольцеобразной полосы.

Идея Райта была подтверждена изысканіями Гершелей, отца и сына. В. Гершель для опредѣленія формы млечнаго пути поступалъ такъ. Онъ направлялъ свой телескопъ на тысячи различныхъ мѣстъ млечнаго пути и непосредственно сосчитывалъ количество звѣздъ, которыя онъ усматривалъ въ свой телескопъ. Исходя затѣмъ изъ недостаточно обоснованнаго предположенія, по которому звѣзды во вселенной одинаково густо распредѣлены, В. Гершель въ найденныхъ имъ числахъ имѣлъ грубый масштабъ для измѣренія глубины млечнаго пути въ томъ или другомъ направленіи.

Работу Гершеля-отца продолжалъ Гершель-сынъ (John Herschel), который на нѣсколько лѣтъ переселился на мысъ Доброй Надежды спеціально затѣмъ, чтобы сосчитывать звѣзды южной части млечнаго пути. Послѣ Гершелей изученіемъ вопроса о строеніи звѣздной системы занимался Вильгельмъ Струве (F. G. W. Struve). Его *изслѣдованія представляютъ рядъ остроумныхъ соображеній* о распредѣленіи звѣздъ въ млечномъ пути, соображеній, основанныхъ на яркости звѣздъ, ихъ разстояніи отъ солнца и ихъ движеніи. Изслѣдованія Струве привели къ выводамъ, во многомъ аналогичнымъ съ выводами Гершелей, съ тѣмъ главнымъ отличіемъ, что по Струве млечный путь *имѣетъ форму слоя, нѣсколько изогнутаго.*

Къ ряду такихъ знаменитыхъ изслѣдователей неба примыкаетъ еще одинъ знаменитый астрономъ, патеръ Секки (Secchi, 1818—1878) директоръ Ватиканской обсерваторіи. Въ своемъ сочиненіи „Звѣзды“, трактуя о строеніи млечнаго пути и приходя приблизительно къ такимъ же выводамъ, какъ и его предшественники, онъ, между прочимъ, высказываетъ свое убѣжденіе о томъ, что млечный путь представляетъ собою систему *ограниченную*, т.-е. не простирающуюся ни въ какомъ направленіи до безконечности. Это мнѣніе онъ мотивируетъ слѣдующимъ соображеніемъ. Извѣстно, что по всему протяженію млечнаго пути разсыпаны темныя мѣста, видимо, почти совершенно лишенныя звѣздъ. Эти темныя мѣста извѣстны подъ именемъ „угольныхъ мѣшковъ“. Если бы млечный путь представлялъ собою систему, простирающуюся до безконечности, тогда угольные мѣшки представляли бы собою *безконечно* глубокія цилиндрическія ямы, при чемъ оси всѣхъ этихъ цилиндровъ пересѣкались бы какъ разъ въ нашей солнечной системѣ, что, конечно, мало вѣроятно.

Резюмируя все вышесказанное, можно сказать, что въ общемъ представленія о строеніи звѣздной системы оставались такими же, какими мы ихъ находимъ въ изложеніи Райта.

Но за послѣднія нѣсколько лѣтъ, послѣ того, какъ практическая астрономія нашла въ фотографіи и спектроскопіи могущественныя орудія для распознаванія строя неба, послѣ того, какъ появились капитальнѣйшіе атласы звѣздъ, звѣздныхъ кучъ и туманностей, нѣсколько подвинулось впередъ рѣшеніе вопроса о строеніи звѣздной системы. Недавно астрономъ Уотерсъ (Woters), пользуясь новѣйшими каталогами туманностей и звѣздныхъ кучъ, сдѣлалъ подробное изслѣдованіе о взаимномъ расположеніи звѣздныхъ кучъ и туманностей съ одной стороны и млечнаго пути — съ другой. Эти изслѣдованія привели къ слѣдующимъ результатамъ. Оказывается, что звѣздныя кучи, какъ по своему расположенію на небѣ, такъ и по всѣмъ особенностямъ своимъ, находятся въ тѣснѣйшей связи съ млечнымъ путемъ. Звѣздныя кучи разсыпаны въ наибольшемъ количествѣ въ млечномъ пути, между тѣмъ какъ туманности вообще сгруппированы равномѣрно по всему небу.

Чѣмъ же обусловливается такое видимое родство звѣздныхъ кучъ съ млечнымъ путемъ? Многіе астрономы, съ большею или меньшею мѣрой вѣроятности, приписываютъ эту видимую связь процессу образованія звѣздныхъ кучъ изъ космической матеріи путемъ постепеннаго сгущенія отдѣльныхъ ея частей. Насколько это мнѣніе, ведущее, впрочемъ, свое начало уже отъ Гершеля - отца, вѣроятно, еще пока трудно сказать, но во всякомъ случаѣ несомнѣнно, что *видимая* связь между звѣздными кучами обусловливается *дѣйствительно* существующимъ родствомъ. Совершенно иное соотношеніе обнаружилось между туманностями и млечнымъ путемъ.

Мы уже упомянули, что ихъ расположеніе на небѣ обнаруживаетъ характеръ независимый относительно млечнаго пути. Это обстоятельство дало еще Канту поводъ сдѣлать заключеніе, что туманности представляютъ собою отдѣльные млечные пути, безконечно отъ насъ удаленные.

Но такое полное отожествленіе млечнаго пути съ туманностями въ настоящее время научными методами не обнаружено; лишь въ одномъ отношеніи подозрѣвается — на основаніи послѣднихъ астрономическихъ изысканій — родство между этими міровыми тѣлами. Дѣло въ томъ, что почти всѣ туманности, какъ недавно обнаружено изъ превосходныхъ фотографическихъ снимковъ, выполненныхъ астрофизикомъ Робертсомъ (Roberts), имѣютъ форму спирали.

Что касается млечнаго пути, то, какъ мы уже знаемъ, онъ на большомъ протяженіи тянется раздвоеннымъ. Это обстоятельство и тщательныя изслѣдованія характера расположенія звѣздъ подали поводъ Проктору и нѣкоторымъ другимъ астрономамъ сдѣлать вѣроятное предположеніе о томъ, что млечный путь также имѣетъ форму спирали. Такимъ образомъ, дѣйствительно существуетъ вѣроятное сходство между туманностями и млечнымъ путемъ.

Кратныя звѣзды. 13. Заканчивая нашъ очеркъ о строеніи звѣздной системы, мы должны еще упомянуть о кратныхъ звѣздахъ. До открытія зрительной трубы астрономы знали лишь нѣсколько звѣздъ, представляющихъ собою группы двухъ, *видимо* совсѣмъ близко другъ къ другу расположенныхъ, звѣздъ, и не обращали на нихъ никакого вниманія, такъ какъ эти звѣзды разсматривались, какъ *оптическія* двойныя звѣзды, т.-е., какъ такія, которыя лишь съ нашей земной точки зрѣнія кажутся близкими другъ къ другу, такъ что между этими двойными звѣздами *физической* связи никакой не подозрѣвали.

Первыми астрономами, которые заподозрили существованіе *физическихъ* двойныхъ звѣздъ, т.-е. такихъ двойныхъ звѣздъ, которыя дѣйствительно близко другъ къ другу расположены и потому въ силу всемірнаго тяготѣнія физически другъ съ другомъ связаны, были Ламбертъ (Lambert), Митчель (Mitchel) и Христіанъ Майеръ (Chr. Mayer). Послѣдній даже рѣшился нарочно искать такихъ двойныхъ звѣздъ, и ему дѣйствительно удалось открыть около ста такихъ звѣздъ. Новизна открытія Майера заставила усомниться многихъ астрономовъ въ правдивости существованія физическихъ двойныхъ звѣздъ. Многіе даже выдающіеся астрономы — современники Майера — категорически отрицали фактъ существованія двойныхъ звѣздъ.

Однако, всѣ противники Майера замолкли, когда вскорѣ послѣ Майера за дѣло исканія двойныхъ звѣздъ взялся знаменитый Гершель-отецъ, который, послѣ ряда наблюденій, продѣланныхъ со всею свойственной ему научной строгостью, открылъ 846 двойныхъ звѣздъ. Замѣтимъ, впрочемъ, что, кромѣ двойныхъ звѣздъ, существуютъ и *физическія* тройныя звѣзды и вообще физическія кратныя звѣзды. Кромѣ Гершеля-отца, изслѣдованіями двойныхъ звѣздъ съ наибольшимъ успѣхомъ занимался Вильгельмъ Струве. Труды этого астронома въ области изслѣдованія кратныхъ звѣздъ, составленные въ первой половинѣ текущаго столѣтія, являются понынѣ капитальнѣйшимъ произведеніемъ въ этомъ направленіи. Открытіями двойныхъ звѣздъ и движеніемъ ихъ составляющихъ, занима-

лись и многіе другіе астрономы, какъ, напримѣръ, Гершель сынъ, Отто Струве и Дембовскій.

Въ настоящее время, послѣ того какъ сдѣлалось извѣстнымъ огромное количество двойныхъ звѣздъ и сдѣлано много наблюденій относительно ихъ взаимнаго расположенія соотвѣтственно различнымъ моментамъ времени,—ученые прилагаютъ особое стараніе къ опредѣленію орбитъ этихъ двойныхъ звѣздъ; точнѣе говоря — опредѣляется орбита одного компонента относительно другого, разсматриваемаго какъ неподвижная точка, при чемъ еще, собственно говоря, опредѣляется даже не самая орбита, а лишь проекція ея въ плоскости, перпендикулярной къ линіи зрѣнія, направленной къ компоненту, разсматриваемому какъ неподвижная точка.

Для опредѣленія этихъ орбитъ были предложены различные методы, изъ которыхъ особеннаго вниманія заслуживаютъ методы Энке (Encke), Ковальскаго, Глазенапа и нѣкоторыхъ другихъ. Замѣтимъ еще, что въ послѣдніе нѣсколько лѣтъ удалось астрономамъ Фогелю (H. C. Vogel) и Пикерингу (Pickering) показать, что фотографіи спектровъ нѣкоторыхъ звѣздъ, которыя разсматривались раньше какъ обыкновенныя, обнаруживаютъ періодическое передвиженіе или удвоеніе отдѣльныхъ линій, которое почти съ достовѣрностью указываетъ на то, что разсматриваемая звѣзда представляетъ на самомъ дѣлѣ двойную звѣзду, компоненты которыхъ, весьма близкіе другъ къ другу, вращаются около общаго центра тяжести, такъ что относительно наблюдателя происходитъ періодическое приближеніе одного компонента и удаленіе другого, которое, на основаніи упомянутаго перемѣщенія линій спектра, поддается измѣренію.

Такимъ путемъ найдены были двойныя звѣзды, которыя обыкновеннымъ оптическимъ путемъ не могли быть открыты. Среди кратныхъ звѣздъ есть и такія, у которыхъ одна составляющая, излучивъ свой свѣтъ и свою теплоту въ міровое пространство, потухла уже, такъ что его физическій глазъ никогда уже не можетъ узрѣть. Однако, при помощи спектральнаго анализа удалось—путемъ изученія упомянутаго перемѣщенія линій спектра — открыть кратныя звѣзды съ потухшею составляющею и указать особенности движенія послѣдней. Открытіе темныхъ составляющихъ кратныхъ звѣздъ есть, несомнѣнно, одно изъ величайшихъ открытій, когда-либо сдѣланныхъ геніемъ человѣка.

И. Абельманъ.

46. Солнечная система въ міровомъ пространствѣ.

Собственное движеніе звѣздъ.

1. Если въ различныя эпохи, достаточно отдаленныя, опредѣлить при помощи наблюденій положенія какой-нибудь неподвижной звѣзды и найденныя мѣста, исправленныя за прецессію, нутацію и аберрацію [1]), сравнить между собою, то обнаруживаются небольшія разности, *пропорціональныя времени*, которыя называются „собственнымъ движеніемъ" звѣзды. Знаменитый англійскій астрономъ Галлей (Halley) первый указалъ на то, что нѣкоторыя звѣзды, напримѣръ, Альдебаранъ, Арктуръ, Сиріусъ, обладаютъ собственнымъ движеніемъ, такъ какъ перемѣщеніе ихъ положеній на небѣ иного характера, чѣмъ у звѣздъ вообще.

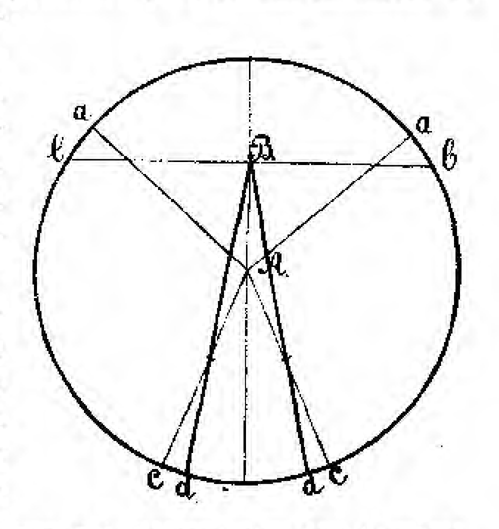
Первыми, однако, дѣйствительными опредѣленіями собственнаго движенія многихъ звѣздъ мы обязаны Тобіасу Майеру (Tobias Mayer), гёттингенскому астроному, одному изъ самыхъ выдающихся въ XVIII вѣкѣ. Въ настоящее время извѣстно множество звѣздъ съ собственнымъ движеніемъ, и хотя многія еще не обнаружили его, однако можно почти съ достовѣрностью утверждать, что собственное движеніе присуще всѣмъ звѣздамъ, но у многихъ оно настолько мало, что ускользаетъ отъ современныхъ методовъ наблюденій.

Движеніе солнца въ пространствѣ.

2. Но замѣтимъ, что видимое собственное движеніе звѣздъ является отчасти отраженіемъ собственнаго движенія нашей же солнечной системы. Уже Ламбертъ (Lambert)—знаменитый астрономъ-философъ XVIII вѣка — въ своихъ классическихъ „Космологическихъ письмахъ" писалъ въ пророческомъ духѣ: „видимыя собственныя движенія звѣздъ отчасти дѣйствительно происходятъ, от-

[1]) См. „Скорость свѣта" II, 20, 21, 23 и „Успѣхи наблюд. астрон." II, 41.

части являются слѣдствіемъ движенія нашего солнца; впослѣдствіи возможно будетъ эти два компонента другъ отъ друга отдѣлить и указать направленіе, по которому движется наше солнце". Это пророчество сбылось раньше, чѣмъ можно было ожидать. Уже въ 1783 году, спустя 22 года послѣ опубликованія словъ Ламберта, Гершель-отецъ (W. Herschel), представилъ Королевскому Обществу (Royal Society) свой знаменитый трудъ „On the proper motion of the Sun and the Solar System". Въ этомъ сочиненіи В. Гершель, основывая свои соображенія на выведенныхъ Тобіасомъ Майеромъ собственныхъ движеніяхъ многихъ звѣздъ, даетъ рѣшеніе задачи о направленіи движенія солнца, указывая, что солнце движется по направленію къ точкѣ неба, координаты которой суть: $AR =$ 17 ч. 22 м. и $\delta = +26°17'$ [2]), т. е. оно движется приблизительно къ звѣздѣ γ Геркулеса. При рѣшеніи задачи Ламберта Гершель руководился приблизительно такими соображеніями: когда солнце перемѣщается изъ A въ B (фиг. 274), тогда тѣ звѣзды, которыя при положеніи солнца въ A видимы были въ a, при положеніи солнца въ B покажутся въ b, точно также звѣзды, которыя при первомъ положеніи солнца были видны въ c, при второмъ положеніи покажутся въ d, другими словами, звѣзды, расположенныя въ направленіи движенія извѣстнымъ образомъ, раздвигаются, звѣзды, расположенныя въ противоположномъ направленіи, другъ къ другу придвигаются. Очевидно теперь, если заранѣе задаться опредѣленнымъ движеніемъ солнца и при этомъ окажется, что указанныя перемѣщенія звѣздъ въ общемъ согласуются съ этимъ направленіемъ, тогда можно вывести заключеніе, что это направленіе есть дѣйствительно то, по которому солнце движется.



Фиг. 274. Видимыя перемѣщенія звѣздъ, какъ результатъ собственнаго движенія солнечной системы.

Орбита движенія солнечной системы.

3. Результатъ, полученный В. Гершелемъ, былъ въ общемъ подтвержденъ послѣдующими изысканіями. Эти изысканія между про-

---

[2]) AR = прямое восхожденіе, δ = склоненіе; см. „Астр. инстр." II, 40.

чимъ показали, что солнечная система движется со скоростью около 30 километровъ слишкомъ въ секунду. Таковы *въ настоящее время* направленіе и скорость солнца. Остается ли это направленіе движенія солнца неизмѣннымъ? Выдающійся швейцарскій астрономъ Рудольфъ Вольфъ (Rud. Wolf) высказываетъ свое убѣжденіе, что оно мѣняется; онъ говоритъ: „вѣка грядущіе, несомнѣнно, установятъ фактъ медленнаго измѣненія современнаго направленія движенія солнца, и отсюда найдены будутъ собственныя орбиты солнца и время его обращенія вокругъ отдаленнаго центра тяжести"; такимъ образомъ, по мнѣнію Вольфа, рѣшена будетъ та задача, за которую брался было астрономъ Медлеръ (Mädler). Этотъ даровитый изслѣдователь неба и вмѣстѣ съ тѣмъ восторженный и весьма плодотворный популяризаторъ астрономіи — на основаніи своихъ изысканій движеній звѣздъ — пришелъ къ заключенію, что вся звѣздная система и, между прочимъ, наше солнце, движется около центральнаго солнца, и что это центральное солнце есть звѣзда Альціона въ Плеядахъ. Однако, научная критика показала, что выводы Медлера далеко недостаточно обоснованы, и что центральнаго солнца не существуетъ. Въ восьмидесятыхъ годахъ Максвель Голь (Maxwell Hall), пользуясь трудами Медлера, за которыми, однако, извѣстная заслуга остается, и своими собственными, пришелъ къ заключенію, что солнце движется около опредѣленной точки въ 20 милліоновъ лѣтъ. Но и рѣшеніе Голя разсматривается критикой, какъ преждевременное и несоотвѣтствующее истинѣ. Рѣшеніе этой великой задачи есть дѣло лишь вѣковъ грядущихъ.

И. Абельманъ.

Библіографія.

W. Struwe. Etudes d'astronomie stellaire.
Agnes Clerke. The system of the stars.
Proctor. Distribution of the nebulae.
Secchi. Les étoiles.

W. Struwe. De motibus propriis stellarum (Positiones mediae).
Leo de Ball. Untersuchungen über die Eigenbewegung des Sonnensystems.
Maxwell Hall. The cidereal System.

47. Происхожденіе міра.

„Si l'homme s'était borné à recueillir des faits, les sciences ne seraient qu'une nomenclature stérile, et jamais il n'eût connu les grandes lois de la nature" *).

Laplace. „Exp. du Syst. du Monde". Liv. I, chap. XI.

Общій характеръ древнихъ космогоній.

1. Вопросъ о происхожденіи міра принадлежитъ къ тѣмъ возвышеннымъ и глубокимъ вопросамъ, которые волнуютъ человѣческій умъ съ самыхъ древнихъ временъ. На всѣхъ стадіяхъ историческаго развитія человѣкъ стремился проникнуть въ тайну происхожденія видимаго имъ міра и пытался познать законы, управляющіе вселенной. Но наблюденіе природы и познаніе ея законовъ находились въ древнѣйшую эпоху въ ближайшей связи съ господствовавшими вѣрованіями, а потому и космогоніи [1]) древнихъ носятъ печать религіознаго отношенія человѣка къ природѣ.

Какъ произошелъ видимый міръ, древнія космогоніи изображаютъ различно; однако, общее всѣмъ взглядамъ и вѣрованіямъ по этому вопросу то, что весь міръ, т. е. видимое небо и земля, произошелъ изъ какого-то *хаоса* [2]) (мрака), чего-то неопредѣленнаго и неяснаго, въ чемъ были смѣшаны: и земля, и вода, и огонь,

*) Если бы человѣкъ ограничился собираніемъ фактовъ, науки сдѣлались бы только безплодною номенклатурой, и онъ никогда не позналъ бы великихъ законовъ природы.

[1]) Космогонія — *ученіе о происхожденіи міра*, отъ греческ. слова *κόσμος* (міръ, вселенная) и *γόνος* (происхожденіе).

[2]) *τὸ χάος* — по гречески: мракъ, тьма, бездна.

и воздухъ, — словомъ, всѣ тѣ дѣятельныя начала, или стихіи [3]), которыя, какъ учили потомъ греки, своимъ взаимодѣйствіемъ и смѣшеніемъ произвели земную природу и весь видимый міръ.

Изъ упомянутаго хаоса, по ученію древнихъ, выдѣлились небо и земля, при чемъ на этой послѣдней постепенно начинаются различныя преобразованія, въ концѣ которыхъ появляются растенія, животныя и, наконецъ, человѣкъ. Время, въ теченіе котораго изъ первоначальнаго хаоса произошла видимая природа, у народовъ Востока имѣетъ неодинаковую величину. Такъ, по представленіямъ халдеевъ, финикіянъ и вавилонянъ, послѣднее преобразованіе хаоса или твореніе земли, растеній и животныхъ совершилось почти въ нѣсколько дней, тогда какъ по ученіямъ и вѣрованіямъ индусовъ твореніе продолжалось цѣлые милліоны лѣтъ, прежде чѣмъ міръ достигъ своего окончательнаго вида.

Будучи противорѣчивы другъ другу и построены на началахъ, слишкомъ шаткихъ, нисколько не вытекавшихъ изъ непосредственнаго изученія природы, космогоніи народовъ древняго востока не могутъ имѣть для насъ научнаго значенія; онѣ интересны развѣ только въ общей исторіи человѣческой мысли [4]).

Отъ „космическихъ мечтаній" востока не далеко ушли въ вопросѣ о происхожденіи міра и древніе греки, эти „основатели естественно-историческаго метода", превзошедшіе силою логической эрудиціи своихъ предшественниковъ. Ихъ философы, за весьма немногими исключеніями, совсѣмъ почти не занимались наблюденіемъ и изученіемъ природы, и даже тамъ, гдѣ они трактовали о наблюденіяхъ, рѣчь шла больше о метафизической сущности явленій, чѣмъ о дѣйствительной естественно-исторической ихъ связи, такъ какъ явленія изучались не путемъ опыта, а изслѣдовались при помощи исключительно діалектическихъ построеній. Склонность греческаго ума къ чистой абстрактности, сказавшаяся съ такою силой въ школѣ Платона, не могла способствовать созданію сколько-нибудь стойкой, положительной космогоніи.

Атомисты. Изъ всѣхъ греческихъ мыслителей наиболѣе достойны нашего вниманія лишь атомисты, или — какъ ихъ стали называть впослѣдствіи—матеріалисты, къ первымъ піонерамъ которыхъ принадлежитъ

---

[3]) Стихія — отъ греч. слова *στοιχεῖον* (первое и основное начало чего-либо элементъ, простое вещество).

[4]) Болѣе подробно на русскомъ языкѣ о космогоніяхъ древнѣйшихъ народовъ читатель найдетъ въ сочиненіи *Ф. Ленормана*—„Руководство къ древней исторіи Востока". 3 тома. Переводъ съ франц. Кіевъ. 1876 — 1879 г.

Левкиппъ и затѣмъ, превзошедшій своего учителя, ученикъ его Демокритъ (въ V в. до Р. Х.), считаемый по справедливости величайшимъ до Аристотеля естествоиспытателемъ древности; позднѣйшіе — Эпикуръ и популяризаторъ его ученія римскій писатель Лукреций — явились лишь завершителями древняго атомистическаго ученія.

Хотя современные естествоиспытатели и стараются видѣть въ Аристотелѣ — этомъ умственномъ чародѣѣ, сковавшемъ почти на 20 столѣтій умъ человѣчества, — предвѣстника эволюціоннаго ученія, но въ вопросѣ о происхожденіи міра онъ стоитъ значительно позади своего менѣе знаменитаго предшественника Демокрита, который, по свидѣтельству Петронія, отличался особенною любовью къ наблюденіямъ надъ природой и владѣлъ въ совершенствѣ науками своего времени. Много путешествуя по разнымъ странамъ, Демокритъ вездѣ изучалъ животныхъ и растенія и производилъ множество изысканій, составившихъ ему еще при жизни славу выдающагося и самобытнаго изслѣдователя; въ этомъ отношеніи онъ долженъ быть поставленъ выше прославленнаго Аристотеля, который, повидимому, многое черпалъ изъ твореній Демокрита, хотя гордость философа и не позволяла стагириту указывать на свой первоисточникъ. Демокритъ едва ли не первый изъ всѣхъ греческихъ мыслителей указывалъ на громадное значеніе опыта и экспериментальнаго метода въ изслѣдованіи природы, чѣмъ, говорятъ, и возбудилъ впослѣдствіи неудовольствіе Платона. Разсказываютъ даже, что Платонъ изъ фанатической ревности и зависти къ Демокриту хотѣлъ было скупить и сжечь всѣ его сочиненія, такъ какъ признавалъ свое полное безсиліе бороться съ эмпиризмомъ, являвшимся отличительною чертой Демокритовой философіи. Демокритъ и Аристотель.

По словамъ Діогена Лаертскаго, Демокритъ написалъ выдающееся сочиненіе „Megas Diakosmos“ (Великое строеніе міра), дошедшее до насъ, къ сожалѣнію, только въ отрывкахъ, въ которомъ излагается атомистическая космогонія.

По ученію Демокрита, воспроизведенному Діогеномъ, вся природа представляетъ собою не что иное, какъ механику атомовъ, и ничего въ ней, кромѣ атомовъ и пустого пространства, не существуетъ. Различіе всѣхъ предметовъ зависитъ отъ различія числа, величины, формы и порядка атомовъ, которые по качеству однородны, но безконечны въ числѣ и безконечно разнообразны по формѣ. Атомы неизмѣняемы и дѣйствуютъ другъ на друга посредствомъ давленія и удара. Міровъ, — учитъ Демокритъ, — безчислен-

ное множество, они возникаютъ и разрушаются; но ничто изъ того, что существуетъ, не можетъ быть уничтожено, какъ и изъ ничего ничто не происходитъ. Всякое измѣненіе есть только соединеніе и раздѣленіе частей. Ничто не происходитъ случайно, но все имѣетъ нѣкоторую причину и происходитъ по необходимости. Движенія, существующія въ пространствѣ отъ дѣйствія атомовъ другъ на друга, производятъ круговращенія (вихри), которыя и даютъ начало образованіямъ міровъ. Солнце и луна произведены вихрями кружащихся частицъ.

Великій Аристотель, отстаивая свою философскую независимость и возражая атомистамъ, признавалъ неизмѣняемость міра. „Небесныя тѣла“, — говоритъ онъ въ своемъ сочиненіи „De coelo“, — „эти неизмѣняющіяся безстрастныя существа, ведутъ въ теченіе цѣлой вѣчности самое совершенное и независимое существованіе. Время на нихъ не дѣйствуетъ, они не старѣютъ и не испытываютъ никакихъ перемѣнъ... Небо не создано и не можетъ погибнуть; оно вѣчно безъ начала и конца и не знаетъ усталости“.

Нѣкоторые не признаютъ существованія у грековъ космогоніи въ собственномъ значеніи этого слова и для доказательства вѣрности своихъ словъ ссылаются на Аристотеля, который скорѣе говоритъ объ устройствѣ неба или его внѣшней картинѣ, космосѣ, чѣмъ объ его происхожденіи [5]. Но все же нельзя не признать, что атомисты имѣли свою особую космогонію, и ученіе ихъ въ томъ видѣ, какъ его излагаетъ Діогенъ Лаертскій или Лукреций (96—55 гг. до Р. Х.) заслуживаетъ должнаго вниманія [6]. Весьма многія идеи атомистовъ не остались безплодными и для дальнѣйшихъ шаговъ науки. Подъ нѣкоторыми изъ ихъ разсужденій съ полнымъ правомъ могли бы подписаться и новѣйшіе мыслители, какъ напр., Декартъ, Лейбницъ и даже, пожалуй, Лапласъ (P. S. Laplace) [7].

---

5) Интересующихся развитіемъ этого вопроса у древн. грековъ отсылаемъ къ сочиненію *Фэя*—„Происхожденіе міра“ и къ сочиненію проф. *Любимова*—„Исторія Физики“, т. I, Изложеніе общаго физическаго міровоззрѣнія древн. грековъ читатель найдетъ у *Ланге*—„Исторія матеріализма“, а также обстоятельное критическое изслѣдованіе его въ „Философія дѣйствительности“ *М. Филиппова*.

6) Вообще объ атомистовъ см. у Филиппова: „Философія дѣйствительности“ глава III.

7) Проф. *Менделѣевъ* въ своихъ „Основахъ химіи“ видитъ, однако, глубокія различія между атомистическимъ ученіемъ древнихъ и современнымъ научнымъ атомизмомъ; но, безъ сомнѣнія, идея атомизма и первый фундаментъ этого ученія заложенъ въ древности.

Лукрецій.

Такъ, Лукрецій, наставляя въ своемъ сочиненіи „De rerum natura“ знатнаго Меммія, которому посвящено сочиненіе, высказываетъ, между прочимъ, мысли, уясняющія взглядъ атомистовъ на происхожденіе міровыхъ тѣлъ: „Блуждая въ пустотѣ, атомы увлекаются собственнымъ вѣсомъ и толчками другихъ атомовъ, часто встрѣчаются, сталкиваются и вновь отбрасываются въ разныя стороны, ибо атомы тверды, тяжелы и ничто не препятствуетъ ихъ движенію. Вселенная не имѣетъ конца и атомамъ негдѣ остановиться. Все въ мірѣ находится въ постоянномъ движеніи. Атомы, образовавшіе землю, постепенно собирались *внизу*, при чемъ тяжелые и грубые заняли нижнія мѣста“. И подъ конецъ Лукрецій приводитъ весьма знаменательное для того времени заключеніе: „Разъ дѣйствіе каждой причины опредѣлено, и первый толчекъ данъ вселенной во время образованія міра, то весь циклъ явленій уже будетъ подчиненъ этому разъ установленному и неизмѣнному порядку (закону)“ [8].

Ньютонъ.

Эти слова Лукреція какъ нельзя болѣе подходятъ къ знаменитому возраженію Лапласа на разсужденіе, приводимое Ньютономъ въ заключительномъ толкованіи на свои „Principia Mathematica“ и подтвержденное имъ въ концѣ его Оптики.

Говоря объ устройствѣ солнечной системы и движеніи планетъ и спутниковъ по одному направленію, Ньютонъ прибавляетъ: „Всѣ эти правильныя движенія не имѣютъ механическихъ причинъ, потому что кометы движутся во всѣхъ частяхъ неба и по весьма эксцентрическимъ орбитамъ... Это удивительное устройство солнца, планетъ и кометъ должно быть дѣломъ разумнаго и всемогущаго существа...“ И въ другомъ мѣстѣ онъ продолжаетъ: „Слѣпая судьба никогда не могла заставить всѣ планеты двигаться такимъ образомъ, исключая развѣ только едва замѣтныя неравенства, могущія происходить отъ взаимодѣйствія планетъ и кометъ, и которыя, вѣроятно, будутъ увеличиваться въ теченіе весьма долгаго времени до тѣхъ поръ, пока, наконецъ, система опять не будетъ приведена въ порядокъ руками Творца.“

Какъ извѣстно, Лейбницъ, въ своемъ спорѣ противъ Ньютона, по поводу изобрѣтенія теоріи флюксій (безконечно-малыхъ) [9], замѣтилъ, что „у Ньютона слишкомъ узкія понятія о мудрости и всемогуществѣ Божества“.

Лапласъ въ своемъ сочиненіи „Изложеніе системы міра“ не

---

[8]) Здѣсь не говорится, какъ и откуда могъ возникнуть первый толчекъ.

менѣе остроумно освѣтилъ на замѣчанія Ньютона. „Устройство планетъ,—писалъ Лапласъ,—развѣ не можетъ быть слѣдствіемъ законовъ движенія, и вѣчный разумъ развѣ не могъ поставить все это устройство въ зависимость отъ явленія болѣе общаго?.. Развѣ можно утверждать, что сохраненіе планетной системы не было въ виду у Создателя?...“

Сопоставивъ приведенныя здѣсь слова Лапласа съ заключеніемъ, высказаннымъ Лукреціемъ, не трудно убѣдиться, что слова этого поэта-атомиста, высказанныя болѣе, чѣмъ за полъ-столѣтія до Р. Х., представляютъ не менѣе сильный аргументъ противъ разсужденій великаго творца законовъ всемірнаго тяготѣнія.

Оставимъ, однако, разсужденія о вмѣшательствѣ Высшаго Разума въ движенія планетъ солнечной системы, а также передадимъ „космическія мечтанія“ древнихъ временъ общей исторіи развитія философской мысли, и перейдемъ къ космогоніямъ новѣйшихъ временъ.

Быстрый и невиданный успѣхъ астрономіи во 2-й половинѣ XVI и началѣ XVII столѣтій, достигнутый трудами геніальныхъ работниковъ науки—Коперника, Тихо Браге, Кеплера и Галилея, въ связи съ новыми вѣяніями во всѣхъ другихъ научныхъ областяхъ, кореннымъ образомъ подкосили авторитетъ древней науки и низвергли ея колосса Аристотеля. Явилась необходимость пересоздать фундаментъ науки на началахъ ея новыхъ завоеваній, нужно было вдохнуть въ науку новый духъ, перестроить ея методъ и ея содержаніе.

И эту трудную, великую задачу созданія научнаго метода, съ отвагою генія, принялъ на себя Рене Декартъ [10]), идеи котораго лишь только теперь начинаютъ оцѣниваться по достоинству.

---

[9]) См. „Основ. методы“... I, 1, VIII.

[10]) Рене Декартъ (René Deskartes), называемый также Картезіусомъ, родился 31 марта 1596 г. въ Турени (Франціи). По окончаніи наукъ въ іезуитской коллегіи въ Лафлешъ, онъ поступилъ въ военную службу, которая, однако, его не удовлетворила. Оставивъ военное поприще, онъ удалился въ Голландію, гдѣ и прожилъ съ 1629 по 1649 годъ, посвящая все свое время занятіямъ философіей. Уже на 23-мъ году Декартъ выработалъ планъ преобразованія философіи, который потомъ и осуществилъ въ знаменитомъ сочиненіи „Discours de la Methode“ (Разсужденіе о методѣ) и многихъ другихъ, изданныхъ съ 1629 по 1701 г. въ Амстердамѣ подъ общимъ заглавіемъ „Principia Philosophiae“. Декартъ былъ не только великимъ философомъ, но и великимъ математикомъ (основалъ аналитическую геометрію), физикомъ и механикомъ. Исходнымъ пунктомъ его философскихъ построеній былъ такъ называемый

Механическія воззрѣнія Декарта.

2. Появленіе въ 1633 году сочиненія Декарта „Monde“ (Міръ), вошедшаго черезъ 11 лѣтъ въ IV собраніе его сочиненій „Principia Philosophiae“ (Основы философіи), составляетъ новую эпоху въ развитіи механическихъ воззрѣній на природу. Вся совокупность явленій матеріальнаго міра объяснялась Декартомъ изъ двухъ началъ: *матеріи и движенія*. Матерія своимъ протяженіемъ занимаетъ всѣ воображаемыя пространства, гдѣ только могутъ находиться міры, а движеніе—не что иное, какъ перемѣщеніе частей этой протяженной субстанціи. Такимъ образомъ, небесное пространство, по Декарту, сплошь наполнено тонкою, движущеюся, однородною матеріей (въ родѣ современнаго эфира), и пустоты въ природѣ не существуетъ. Хотя міръ, по мнѣнію Декарта, могъ быть созданъ разомъ въ законченномъ видѣ, однако, всѣ явленія совершаются въ немъ по чисто-механическимъ причинамъ. Тѣло,—училъ онъ,—не можетъ двигаться иначе, какъ только отъ толчка, сообщеннаго ему движущимся же тѣломъ (Corpus non moveri nisi inpulso a corpore contiguo et moto). Движеніе можетъ передаваться или вполнѣ или отчасти отъ одного тѣла къ другому, но не можетъ безслѣдно исчезнуть изъ міра. Міровая матерія отъ сообщенныхъ ей разнородныхъ движеній образуетъ вращенія, вихри, подобно тому, какъ въ рѣкѣ образуются водовороты отъ сталкивающихся теченій.

Движеніе небесныхъ тѣлъ Декартъ объяснялъ вихрями, существующими въ міровомъ пространствѣ и увлекающими своимъ потокомъ всѣ тѣла, попадающіяся имъ на пути. Отъ тренія въ міровой средѣ вихрь можетъ ослабѣвать, поглощаться, и такимъ образомъ можетъ замедляться вращеніе тѣлъ, имъ увлеченныхъ. Кругообразное движеніе есть послѣдняя форма или окончательный предѣлъ вихреваго движенія; къ этому предѣлу стремятся въ заполненной средѣ всѣ движенія, первоначально сообщенныя матеріи, вслѣдствіе чего вихри, установившіеся вокругъ солнца и звѣздъ, кажутся намъ постоянными и правильными. Самъ вихрь, при своемъ замедленіи и трансформаціи, по ученію Декарта, могъ дать начало

„скептицизмъ“—сомнѣніе въ достовѣрности нашихъ знаній. Лишь одно самосознаніе являлось для него несомнѣннымъ. Знаменитое его „Cogito—ergo sum“ (Думаю, слѣдовательно, и существую) представляло вѣрнѣйшій критерій, изъ котораго долженъ исходить умъ для познанія вещей.

Призванный королевою Христиной въ Швецію для просвѣщенныхъ совѣтовъ, Декартъ не вынесъ сѣвернаго климата, простудился, и тамъ же скончался 11 февраля 1650 г.

міровому тѣлу. Такъ какъ матерія, наполняющая міръ, непрерывна и однородна, то земля и небесные міры могли образоваться только изъ одной и той же матеріи. Земля была нѣкогда, какъ и другія планеты, звѣздой, какъ нынѣ солнце, она была солнцемъ лишь въ меньшемъ размѣрѣ. Всѣ тѣла вселенной произошли отъ трансформаціи вихрей и переживаютъ однѣ и тѣ же стадіи развитія.

Такова, въ общихъ чертахъ, вихревая теорія Декарта, объяснявшая всѣ міровые процессы чисто-механическими, вполнѣ реальными причинами [11]. Все въ ней ясно, просто и наглядно, является развѣ только одинъ вопросъ, правда весьма существенный, который въ одинаковой степени можетъ быть поставленъ и позднѣйшимъ мыслителямъ: какъ могли зарождаться въ міровомъ пространствѣ, сплошь наполненномъ однородною матеріей, вихревыя движенія, или вообще движенія какого бы то ни было рода? Но передъ этимъ вопросомъ долженъ пока склониться человѣческій умъ, такъ какъ наука на него не можетъ дать отвѣта. Поэтому Декартъ, какъ и другіе мыслители въ позднѣйшее время, принималъ движеніе міровой матеріи существующимъ изначала.

Весьма плодотворная по своимъ чисто-механическимъ послѣдствіямъ, теорія Декарта была, однако, заторможена въ дальнѣйшемъ своемъ развитіи возсіявшимъ въ наукѣ геніемъ Ньютона.

Тяготѣніе. Ньютонъ, будучи въ началѣ картезіанцемъ, со временемъ, однако, въ своихъ „Principia Mathematica" подвергъ рѣзкому осужденію систему вихрей Декарта и силою своего авторитета надолго затормозилъ и оттѣснилъ на задній планъ вихревое ученіе, завоевывающее себѣ въ современной философіи естествознанія все большее и большее поприще.

„Поистинѣ достойнымъ сожалѣнія пробѣломъ въ механикѣ,— говоритъ Фэй (Faye), современный французскій астрономъ, предложившій новую гипотезу развитія вселенной,—является эта теорія вихрей, къ которой знаменитые преемники Ньютона — Эйлеръ, Клеро, д'Аламберъ, Лагранжъ и Лапласъ — не приложили своего могучаго анализа; а между тѣмъ въ дѣлѣ космогоніи, — продолжаетъ Фэй,—намъ придется прибѣгнуть къ космическимъ вихрямъ, сходнымъ съ вихрями Декарта" [12].

---

[11]) Любопытно то, что высказанныя Декартомъ идеи о вихревомъ происхожденіи матеріи въ настоящее время нашли новое подтвержденіе въ весьма остроумной теоріи вихрей-атомовъ (vortex-atom), развитой англійскимъ физикомъ Томсономъ. См. „Кинет. теорія" I, 6.

[12]) Болѣе подробное знакомство съ физическими идеями Декарта читатель

Знаменитый творецъ законовъ тяготѣнія, отвергнувъ вихри Декарта, тѣмъ не менѣе самъ былъ поставленъ втупикъ предъ однообразно-вращательнымъ движеніемъ всѣхъ членовъ солнечной системы. Признавая солнечную систему совершенно уединенною въ небесномъ пространствѣ и допуская, что члены ея находятся лишь подъ дѣйствіемъ взаимнаго тяготѣнія, Ньютонъ не могъ, однако, представить себѣ, какъ могло возникнуть это поражающее своею стройностью движеніе въ солнечной системѣ.

Осторожность Ньютона въ области гипотезъ была несравненно болѣе велика, чѣмъ у его дальнѣйшихъ послѣдователей.

По поводу открытія законовъ тяготѣнія Ньютонъ высказался съ слѣдующею осторожностью: „Я объяснилъ небесныя явленія и морскіе приливы силою тяготѣнія, но не показалъ нигдѣ причины этого тяготѣнія... Мнѣ еще не удалось вывести изъ явленій причину этихъ свойствъ тяготѣнія, а гипотезъ я не вымышляю. Ибо все, что не вытекаетъ изъ явленій, есть гипотеза; а гипотезы, будь онѣ метафизическія, физическія, механическія или же основанныя на таинственныхъ качествахъ, не должны быть принимаемы экспериментальною философіею".

Какъ извѣстно, во времена Ньютона звѣздная астрономія совсѣмъ почти не была еще затронута; о звѣздныхъ мірахъ лишь по аналогіи съ солнечной системой высказывались различныя предположенія; структура туманностей и законы обращенія кратныхъ звѣздъ—объекты, представляющіе для современнаго космогониста такую важность,—были для Ньютона еще „terra incognita"; наконецъ, изученіе физическаго строенія небесныхъ тѣлъ и особенно солнечныхъ пятенъ, проливших столько свѣта въ вопросѣ о строеніи звѣздъ, все это во времена Ньютона еще не было затронуто наукой. Вотъ—причина, почему умъ Ньютона, этого великаго аналитика, требовавшаго строгихъ доказательствъ и боявшагося необоснованныхъ гипотезъ, не мирился съ началомъ вихреобразнаго происхожденія, міра,—принципомъ, высказаннымъ Декартомъ и получившимъ новую обоснову въ современной космогонической гипотезѣ Фэя.

3. Наибольшею популярностью въ первой половинѣ текущаго столѣтія пользовалась такъ называемая Канто-Лапласовская теорія происхожденія міра. Космогонія Канта.

почерпнемъ изъ соч. проф. *Любимова* „Философія Декарта". См. также статью проф. *Умова* „Значеніе Декарта въ исторіи физическихъ наукъ" въ журналѣ Вопр. Филос. и Психологіи, кн. 34. О вихряхъ Декарта см. *Любимовъ*, Исторія Физики, ч. III, стр. 481.

Кантъ [13]) въ своей книгѣ: „Естественная исторія и теорія неба" (Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels), анонимно изданной въ 1755 г., а затѣмъ въ другомъ сочиненіи „Доказательство существованія Бога" попытался дать космогонію, такъ сказать, всей вселенной. Еще Декартъ утверждалъ, что образованіе солнечной системы не можетъ быть объяснено внѣ развитія всего звѣзднаго міра или, точнѣе выражаясь, внѣ развитія всей вселенной. Мысль, что солнечная система представляетъ собою не отдѣльное изолированное цѣлое, а составляетъ часть одного общаго космоса, была свойственна многимъ, даже древнимъ мыслителямъ. Однако, лишь въ новѣйшее время она получила полное свое развитіе и господство.

Гипотеза Канта о происхожденіи міра имѣетъ много общаго съ позднѣйшей гипотезой Лапласа, но въ основныхъ своихъ частяхъ обѣ гипотезы значительно отличаются другъ отъ друга, при чемъ первая гораздо слабѣе послѣдней, и только по недоразумѣнію обѣ гипотезы называютъ общимъ именемъ Канто-Лапласовской космогоніи. Это названіе еще тѣмъ менѣе основательно, что послѣдній мыслитель пришелъ къ гипотезѣ совершенно самостоятельнымъ путемъ и, кажется, совсѣмъ не подозрѣвалъ о существованіи космогоніи Канта. Своей гипотезѣ Лапласъ придалъ замѣчательно простую, стройную и законченную форму. Она была строго обоснована на всѣхъ извѣстныхъ тогда астрономическихъ фактахъ и на законахъ механики,—чѣмъ и объясняется ея громадная популярность.

Такъ какъ Ньютонъ въ своихъ „Principia" опровергалъ, что движенія планетъ нашей солнечной системы происходятъ, какъ допускалъ Декартъ, отъ увлекающаго ихъ вихря міровой матеріи,

---

[13]) Эммануилъ Кантъ (Immanuel Kant)—нѣмецкій мыслитель, родился въ Кёнигсбергѣ 22 апрѣля 1724 г., гдѣ и провелъ почти всю свою жизнь и дѣятельность, начиная отъ ученическихъ годовъ, протекшихъ за изученіемъ богословскихъ наукъ, и кончая званіемъ профессора логики и метафизики въ университетѣ того же города. Будучи сыномъ небогатаго мастера сѣдельнаго цеха, Кантъ, послѣ смерти отца, принужденъ былъ въ теченіе 9 лѣтъ жить скуднымъ заработкомъ домашняго учителя. Все время, не покидая своихъ научныхъ занятій, онъ мало-по-малу отъ богословія перешелъ къ изученію физико-математическихъ наукъ, и затѣмъ предался философіи. Въ этой послѣдней области Кантъ сочиненіемъ „Критика чистаго разума" (Kritik der reinen Vernunft, 1781 г.) создалъ себѣ безсмертное имя. Его *теорія познанія* произвела крупный переворотъ въ исторіи мысли, и возникновеніе такъ-называемаго „критицизма" въ философіи обязано генію Канта. Умеръ Кантъ въ своемъ родномъ Кёнигсбергѣ 12 февраля 1804 г.

то Кантъ заключилъ, что это осужденіе вихрей простирается и на эпоху хаотической стадіи міра, т. е. на ту эпоху, когда солнечная система представляла собою хаотически-безформенную матерію, разсѣянную въ безпредѣльномъ пространствѣ.

Уразумѣвъ великую роль всемірнаго тяготѣнія, Кантъ допускалъ, что солнце явилось продуктомъ тяготѣнія частицъ первоначально разсѣянной матеріи, хотя и не могъ объяснить себѣ, отчего зависѣла раскаленность самого солнца,—вопросъ, болѣе или менѣе положительно разрѣшенный только въ настоящее время термодинамикою. Поэтому Канту, какъ и многимъ предыдущимъ мыслителямъ, пришлось допустить существованіе первоначальнаго жара въ хаотической матеріи.

Желая объяснить образованіе планетъ и, главнымъ образомъ, обращеніе ихъ, вмѣстѣ съ спутниками, въ одну и ту же сторону вокругъ солнца (справо—налѣво) [14]), Кантъ не удовольствовался допущеніемъ первоначальнаго хаотическаго вращенія, а хотѣлъ уразумѣть и механическую первопричину этого вращенія. Причину круговращенія хаоса Кантъ получилъ, какъ слѣдствіе взаимодѣйствія частицъ хаоса, но, какъ ниже увидитъ читатель, въ этомъ отношеніи онъ погрѣшилъ противъ принциповъ механики.

Кантъ допускалъ, что первоначальная матерія или хаосъ неопредѣленно распространялись въ міровомъ пространствѣ; хаосъ этотъ, вслѣдствіе необъятной протяжности, имѣлъ вездѣ почти одинаковую плотность и структуру и былъ однороденъ во всѣхъ своихъ частяхъ (гомогенный), частицы хаотической матеріи находились лишь подъ весьма слабымъ дѣйствіемъ взаимнаго притяженія. Въ теченіе неисчислимаго ряда вѣковъ, могли, однако, то тамъ, то сямъ въ безднахъ хаотическаго пространства, подъ вліяніемъ взаимнаго тяготѣнія частицъ другъ къ другу, образоваться различные пункты (центры) болѣе или менѣе сгущенной матеріи. Въ томъ мѣстѣ хаоса, гдѣ случился перевѣсъ плотности и зародился центръ сгущенія, мало-по-малу началъ образовываться клубъ матеріи, который постепенно увеличивался, стягивая и сгущая частицы хаотической матеріи, разсѣянныя въ пространствѣ.

Кромѣ того, такіе же образовавшіеся центры матеріи въ другихъ мѣстахъ хаоса, но меньшаго размѣра, могли быть силою тяготѣнія вовлечены въ большій клубъ.

Такъ, по Канту, возникъ тотъ клубъ хаотической матеріи, ко-

---

14) Для наблюдателя, находящагося къ сѣверу отъ экватора.

торый далъ въ дальнѣйшемъ своемъ преобразованіи начало солнцу, со всѣми обращающимися вокругъ него планетами.

Вращенія хаотическаго клуба Кантъ объяснилъ такимъ образомъ.

Различные центры сгущающейся хаотической матеріи начали падать по направленію къ болѣе уплотненному и болѣе значительному центру въ разнообразныхъ направленіяхъ. Взаимодѣйствіе отдѣльныхъ падающихъ центровъ производило боковыя уклоненія въ ихъ движеніяхъ, и падающія массы, будучи притягиваемы главнымъ центромъ уплотненія и находясь подъ дѣйствіемъ взаимныхъ силъ, двигались во всѣхъ возможныхъ направленіяхъ; это происходило до тѣхъ поръ, пока вся матерія клуба не пріобрѣла общаго, такъ-сказать, суммирующаго движенія и не стала участвовать въ одномъ общемъ круговращеніи.

Вращеніе хаотическаго клуба справа налѣво должно было, повидимому, явиться чистымъ случаемъ и представлять собою результатъ случайнаго перевѣса праваго движенія надъ лѣвымъ.

Погрѣшности противъ механики въ гипотезѣ Канта.

Однако, Кантъ пытается объяснить первоначальное зарожденіе круговращенія клуба, давшаго начало нашей солнечной системѣ; и хотя объ образованіи другихъ міровъ онъ не говоритъ, но очевидно, что каждый міръ для Канта представлялся строго обособленнымъ отъ другихъ, и образованіе каждой системы происходило уже подъ исключеннымъ вліяніемъ взаимныхъ силъ, дѣйствующихъ между частицами и центрами этой системы,—словомъ, Кантъ, представлялъ себѣ каждый хаотическій клубъ, сгруппировавшій въ себѣ матерію, какъ матеріальную систему, совершенно изолированную въ пространствѣ и находящуюся подъ взаимодѣйствіемъ только своихъ собственныхъ частей.

Но, говоря объ образованіи вращенія хаотическаго клуба отъ дѣйствія взаимнаго притяженія его частицъ, Кантъ погрѣшилъ противъ принципа механики, по которому площади, описываемыя радіусами-векторами частицъ, движущихся въ изолированной системѣ подъ дѣйствіемъ взаимныхъ силъ, будучи проектированы на плоскость, дадутъ въ результатѣ 0; а между тѣмъ, въ движеніяхъ тѣлъ солнечной системы этого не происходитъ. Поэтому является совершенно необъясненнымъ, почему клубъ матеріи, частицы котораго находятся подъ дѣйствіемъ только взаимныхъ силъ, будетъ вращаться въ концѣ концовъ въ какую бы то ни было сторону. Канту слѣдовало бы принять круговращеніе клуба a-priori, а не выводить его, какъ слѣдствіе взаимнаго тяготѣнія частицъ.

Указывая на недочеты и пробѣлы Кантовской космогоніи, извѣстный философъ Дюрингъ, авторъ исторіи принциповъ механики, жестоко обрушивается на Канта и называетъ его гипотезу „собраніемъ туманно-шаткихъ очерковъ". Дѣлая упрекъ автору ея за отсутствіе математическаго анализа, Дюрингъ находитъ, что и „чисто логическая цѣпь заключеній не вѣрна и даже не свидѣтельствуетъ о надлежащемъ пониманіи системы тяготѣнія, о которой въ гипотезѣ идетъ рѣчь" [15]).

Позднѣе Кантъ занимался соображеніями и о звѣздныхъ системахъ высшаго порядка... Звѣздная система, по Канту, собственно представляетъ собою всю вселенную, въ которой отдѣльные міры, какъ-то: солнце съ планетами, звѣзды и туманности по отношенію къ общему центру вселенной играютъ совершенно такую же роль, какую планеты играютъ по отношенію къ солнцу. Обстоятельство, наведшее Канта на эти размышленія, заключается въ непосредственномъ созерцаніи млечнаго пути, который, будучи расположенъ почти въ одной плоскости, представлялъ въ глазахъ Канта звѣздное кольцо высшаго порядка. Но соображенія его о звѣздныхъ системахъ надо считать скорѣе порожденіемъ богатой фантазіи, чѣмъ результатомъ точнаго наблюденія.

Гораздо болѣе убѣдительною и основательною является теорія Канта тамъ, гдѣ онъ объясняетъ возникновеніе и развитіе колецъ изъ сгущающейся (уплотняющейся) матеріи клуба. Безъ всякаго сомнѣнія, видъ кольца Сатурна навелъ Канта на размышленіе объ образованіи изъ колецъ планетъ и спутниковъ нашей солнечной системы. Образованіе кольца Сатурна Кантъ выводитъ вполнѣ механическимъ путемъ; онъ даже постарался вычислить на началахъ механическихъ соображеній, по обращеніямъ одного изъ спутниковъ Сатурна, періодъ вращенія самой планеты, и нашелъ время вращенія Сатурна на оси=6 ч. 25 м. 52 с. Не Гершель, открывшій въ 1794 г. пятна на дискѣ Сатурна, вычислилъ вращеніе планеты въ 10 ч. 16 м.,—и это обстоятельство въ значительной степени подорвало авторитетъ Канта и поселило въ умахъ недовѣріе къ его вычисленіямъ.

„Если бы,—говоритъ Фэй,—вычисленіе Канта оказалось тождественнымъ съ наблюденіемъ Гершеля, то механическій геній Канта былъ бы, пожалуй, превознесенъ не менѣе Леверрье, вычислившаго

---

[15]) Смотр. *Дюрингъ*, „Критическая исторія общихъ принциповъ механики" Русск. переводъ, стр. 343 — 344.

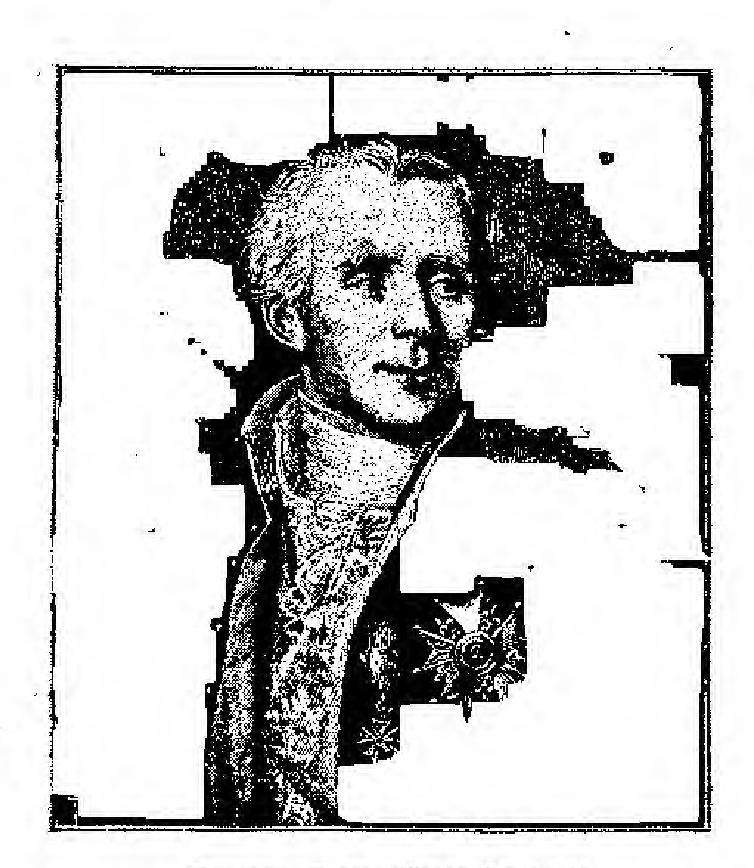
и указавшаго планету Нептуна въ своемъ рабочемъ кабинетѣ". Мы не будемъ здѣсь останавливаться на детальномъ развитіи космогоніи Канта, а перейдемъ прямо къ знаменитой и стройной космогоніи Лапласа, такъ какъ дальнѣйшее развитіе планетъ и спутниковъ оба мыслителя представляли почти одинаково; только Лапласъ [16]) въ своемъ „Изложеніи системы міра"—развилъ свою мысль съ несравненно большею доказательностью и полнотой.

Космогонія Лапласа.

4. Во времена Лапласа астрономія обогатилась важнымъ открытіемъ новой планеты—Урана и его спутниковъ. Кромѣ того, „настоящій вѣкъ—выражаясь словами самого Лапласа—начался самымъ счастливымъ для астрономіи образомъ. Первая ночь этого столѣтія прославлена открытіемъ Цереры, усмотрѣнной въ Палермо астрономомъ Піацци; за этимъ открытіемъ вскорѣ послѣдовали открытія Паллады и Весты—Ольберсомъ и Юноны—Гардингомъ".

---

[16]) Лапласъ (Pierre Simon Laplace), впослѣдствіи маркизъ де-Лапласъ, родился 28 марта 1749 г. въ крестьянской семьѣ въ Бомондѣ (департ. Кальвадосъ) и съ малыхъ лѣтъ отличался замѣчательною памятью и способностями. На 17 году онъ напечаталъ уже въ Туринѣ ученое изслѣдованіе „Sur le calcul integral aux differences infiniment petites et aux differences finies", которое въ скорости сдѣлало имя его извѣстнымъ въ Парижѣ среди ученыхъ. Приглашенный въ Парижъ въ качествѣ преподавателя въ артиллерійской школѣ, Лапласъ вскорѣ былъ избранъ членомъ академіи наукъ (1773); съ этого времени популярность его, какъ ученаго и выдающагося мыслителя, быстро растетъ. Въ 1799 г. Лапласъ, благодаря особому уваженію, какое питалъ къ нему Бонапартъ, дѣлается министромъ внутреннихъ дѣлъ, затѣмъ канцлеромъ сената и даже графомъ Имперіи. Послѣ реставраціи Людовикъ XVIII доставилъ Лапласу почетное званіе маркиза и пэра Франціи. Государственныя заботы, однако, не помѣшали Лапласу заниматься любимыми науками; онъ съ одинаковою энергіей занимается въ тиши своего кабинета разнообразными изслѣдованіями по механикѣ, физикѣ и астрономіи. Ученые труды Лапласа помѣщены въ мемуарахъ Парижской Академіи Наукъ за 1772—1823 гг. Въ отдѣльно изданномъ капитальномъ сочиненіи „Mècanique, cèleste" (Небесная Механика), въ 5 томахъ, (1799—1825 гг.) Лапласъ привелъ въ стройную систему изслѣдованія Ньютона, Клеро, д' Аламбера, Эйлера и свои собственныя, и тѣмъ положилъ прочную основу механикѣ небесныхъ движеній. Въ другомъ сочиненіи „Exposition du Systême du Monde", популярно излагающемъ начала „Mècanique cèleste", Лапласъ развилъ (въ концѣ книги, приложеніе VII), свою знаменитую гипотезу происхожденія міра. Это послѣднее сочиненіе, выдержавшее множество изданій на разныхъ языкахъ, представляетъ собою неподражаемый образецъ совмѣщенія научной эрудиціи съ простотой изложенія. Другіе капитальнѣйшіе труды Лапласа по теоріи вѣроятностей въ неменьшей мѣрѣ способствовали его славѣ. Въ настоящее время Парижская Академія собрала произведенія Лапласа и издала ихъ подъ общимъ заглавіемъ „Oeuvres complètes".—Скончался Лапласъ 5 марта 1827 г. на 76 году.



Лапласъ (Pierre Simon Laplace)
1749—1827

Вслѣдъ за открытіемъ Урана, Вильямъ Гершель усмотрѣлъ шесть спутниковъ новой планеты [17]) но впослѣдствіи, однако, оказалось, что Уранъ имѣетъ ихъ только четыре.

Трудъ относительно наблюденія вращенія новой планеты на оси и обращенія спутниковъ ея — при жизни Лапласа еще не былъ законченъ; но по примѣру другихъ, извѣстныхъ ранѣе, планетъ и ихъ спутниковъ и вновь открытыхъ четырехъ новыхъ малыхъ планетъ — обращеніе спутниковъ Урана и вращеніе на оси самого Урана [18]) считали прямымъ, т. е. происходящимъ справа налѣво.

О существованіи Нептуна съ его спутникомъ во времена Лапласа совсѣмъ еще не подозрѣвали. Могучія средства новѣйшей астрономіи: спектральный анализъ, фотографія, усовершенствованные методы фотометріи, наконецъ, успѣхи экспериментальной физики, давшіе прочную основу механической теоріи тепла (термодинамика) и послужившіе созданію закона сохраненія энергіи—всѣ эти пріобрѣтенія науки второй половинѣ текущаго столѣтія не могли, конечно, послужить Лапласу, жившему въ концѣ прошлаго и первой четверти настоящаго столѣтія, матеріаломъ для созданія космогоніи. Онъ строилъ ее главнымъ образомъ лишь на принципахъ Ньютоновскаго тяготѣнія и на тѣхъ фактахъ наблюдательной астрономіи, какіе дали достаточно могущественные и сильные для его времени телескопы — В. Гершеля, лорда Росса и нѣкоторые другіе.

Выводы, на которыхъ обоснована космогоническая гипотеза Лапласа, формулированы авторомъ ея въ „Изложеніи системы міра" въ такомъ видѣ.

„Для восхожденія къ причинѣ первоначальныхъ движеній планетной системы мы имѣемъ пять слѣдующихъ явленій:

1) Движеніе планетъ по одинаковому направленію и почти въ одной плоскости. Основы для гипотезы.

2) Движеніе спутниковъ по одному общему направленію съ планетами.

---

17) Уранъ былъ открытъ 13 марта 1781 г., а спутники его отъ 1787 г.— 1794 г. Вначалѣ многіе астрономы подозрѣвали, что Уранъ, подобно Сатурну, имѣетъ два кольца, и объ этихъ кольцахъ потомъ съ увѣренностью уже говорили, но В. Гершель своимъ могущественнымъ телескопомъ доказалъ, что это былъ оптическій обманъ.

18) Относительно вращенія Урана на оси хотя неоднократно и утверждали, что онъ имѣетъ обратное вращеніе, чѣмъ другія планеты, но однако даже въ самыя сильныя трубы на планетѣ Урана нельзя замѣтить постоянныхъ полосъ или пятенъ, по которымъ можно было бы вычислить его вращеніе, такъ что и до сихъ поръ вращеніе его неизвѣстно.

3) Вращательныя движенія этихъ различныхъ тѣлъ и солнца, совершающіяся по тому же самому направленію, какъ и ихъ поступательныя движенія, и въ мало различныхъ плоскостяхъ.

4) Малость эксцентрицитета орбитъ планетъ и спутниковъ.

5) Наконецъ, большая эксцентричность орбитъ кометъ" [19]).

Въ построеніи своей гипотезы Лапласъ оставилъ въ сторонѣ трудный и гадательный вопросъ о возникновеніи первоначальнаго круговращенія хаоса; онъ допустилъ, что хаосъ, давшій начало нашей солнечной системѣ, представлялъ собою медленно вращавшійся клубъ матеріи съ явно обозначеннымъ центральнымъ солнцемъ. Клубъ этотъ вращался справа-налѣво и былъ въ сущности не что иное, какъ солнце съ его атмосферой, распростертою далеко за предѣлы Урана. Признавъ, такимъ образомъ, хаотическую матерію вращающеюся изначала, Лапласъ избѣжалъ упрековъ, какіе по справедливости дѣлаютъ необоснованнымъ разсужденіямъ Канта относительно происхожденія вращенія хаотическаго клуба.

„Какова бы ни была причина, — говоритъ Лапласъ, — направившая движенія планетъ, необходимо допустить, что она обнимала собою всѣ эти тѣла; при огромныхъ промежуткахъ, раздѣляющихъ планеты, она могла быть только жидкообразною средой (флюидомъ), распространенною по чрезвычайно обширному пространству. Для того, чтобы сообщить міровымъ тѣламъ (говорится о планетахъ) почти кругообразное движеніе вокругъ солнца, нужно, чтобы упомянутая среда окружала свѣтило въ видѣ атмосферы. Разсмотрѣніе планетныхъ движеній приводитъ насъ, такимъ образомъ, къ мысли, что вслѣдствіе чрезмѣрнаго жара солнечная атмосфера первоначально простиралась за орбиты всѣхъ планетъ и что она послѣдовательно сжалась до своихъ настоящихъ предѣловъ".

Такимъ образомъ, солнце въ первоначальномъ своемъ состояніи, какъ допускаетъ Лапласъ, походило на туманности, подобныя тѣмъ, какія телескопъ открываетъ въ небесномъ пространствѣ, а именно на такъ называемыя планетарныя туманности, состоящія изъ болѣе или менѣе блестящаго ядра, окруженнаго легкимъ облакомъ (фиг. 274).

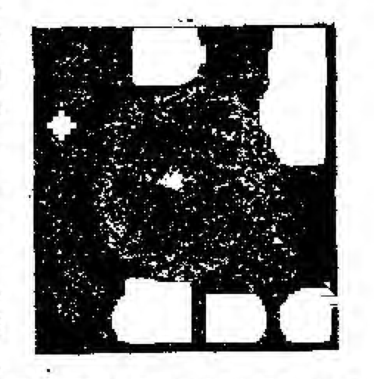
---

[19]) Что Лапласъ совершенно самостоятельно создалъ свою теорію и не былъ знакомъ съ теоріей Канта, показываютъ его же собственныя слова, приводимыя въ „Изложеніи системы міра" вслѣдъ за перечнемъ этихъ явленій. „Сколько мнѣ извѣстно, — пишетъ Лапласъ, — послѣ открытія Коперникомъ истинной системы міра, одинъ только Бюффонъ попытался вознестись до исходнаго начала планетъ и ихъ спутниковъ".

Но какимъ же образомъ, — продолжаетъ далѣе Лапласъ, — солнечная атмосфера опредѣлила вращательное и обращательное движеніе планетъ и ихъ спутниковъ?

„Если эти тѣла (планеты) могли возникнуть въ глубинѣ солнечной атмосферы, то сопротивленіе ея должно было заставить ихъ упасть на солнце; поэтому остается допустить, что планеты образовались послѣдовательно на окраинахъ этой атмосферы путемъ сгущенія поясовъ флюида (газа или пара), которые упомянутая атмосфера, охлаждаясь, оставляла за собою въ плоскости своего экватора". Предѣлъ этой атмосферы, очевидно, будетъ тамъ, гдѣ центробѣжная сила, дѣйствующая при вращательномъ движеніи, уравновѣситъ тяжесть частицъ охлаждающейся атмосферы.

Заставляя въ опытѣ Плато [20]), вращаться шарикъ прованскаго масла, погруженный въ винный спиртъ, мы замѣчаемъ, что шарикъ отъ дѣйствія центробѣжной силы сжимается и расплющивается въ плоскости своего экватора. При усиленіи вращенія отъ шарика отдѣляется масляное кольцо, вращающееся въ сторону общаго вращенія; затѣмъ это кольцо можетъ разорваться и образовать другой меньшій шарикъ, вращающійся на своей оси въ сторону опять-таки того же вращенія. Ускоряя вращеніе центральнаго шарика, мы можемъ получить отъ него новое кольцо, и т. д. Опытъ Плато.



Фиг. 274. Планетарный туманъ на юго-востокъ отъ β Ursae majoris ($AR = 11^h 8^m$, $\delta = +55^\circ 40'$).

То, что въ опытѣ Плато получается отъ ускоряющагося вращенія шарика, приводимаго въ движеніе при помощи усиленнаго дѣйствія центробѣжной машинки, — то, по космогоніи Лапласа, происходило съ атмосферою солнца отъ сжатія и концентраціи матеріи. Атмосфера солнца, вслѣдствіе охлажденія и сгущенія (уплотненія), мало-по-малу сжималась, а поэтому скорость ея вращенія, по законамъ механики, должна была возрастать [21]). Чтобы отъ вращаю-

[20]) Наглядною схемой міроваго явленія, о которомъ говоритъ Лапласъ, можетъ служить всѣмъ извѣстный изъ учебниковъ физики опытъ Плато (Plateau). Нужно однако замѣтить, что этотъ опытъ далеко не тождественъ со способомъ образованія планетъ и спутниковъ въ томъ видѣ, какъ это даетъ космогонія Лапласа.

[21]) По законамъ механики: сумма площадей, описанныхъ радіусами-векто-

щейся массы отдѣлилось кольцо, — очевидно, необходимо было, чтобы вращеніе сфероида ускорилось настолько, что дѣйствіе центробѣжной силы [22]) на границѣ экваторіальной плоскости этого сфероида уравновѣсилось съ тяжестью пограничныхъ его частицъ. Когда такой моментъ наступалъ, тогда отъ солнечной атмосферы на ея экваторіальной границѣ отдѣлялось кольцо, съ вращеніемъ въ ту же сторону, въ какую вращался солнечный клубъ, т. е. справа-налѣво.

Вслѣдствіе постепеннаго охлажденія и сжатія клуба увеличивалась скорость его вращенія, и опять могъ наступить моментъ, когда центробѣжная сила уравновѣсила тяжесть экваторіальныхъ частицъ клуба, и, такимъ образомъ, опять могло остаться на границѣ солнечной атмосферы кольцо съ вращеніемъ въ ту же сторону.

Такъ постепенно могли возникать кольца (подобно тому, какъ въ опытѣ Плато), угловая скорость вращенія которыхъ возрастала отъ периферіи къ центру клуба.

„Если бы всѣ частицы атмосфернаго кольца продолжали сгущаться, не разъединяясь, то, съ теченіемъ времени, онѣ составили бы капельно-жидкое или твердое кольцо. Но вслѣдствіе правильности, требуемой для такого образованія, явленіе это должно случаться чрезвычайно рѣдко, и дѣйствительно, солнечная система представляетъ намъ только одинъ такой примѣръ въ Сатурновыхъ кольцахъ“ [23]).

Обыкновенно, отъ неравномѣрности охлажденія и сжатія, кольцо теряло свою правильную форму и съ теченіемъ времени могло уплотняться въ нѣкоторыхъ мѣстахъ, а вслѣдствіе этого отъ вращенія и разорваться или же разложиться на отдѣльныя части. Эти отдѣлившіяся части, подъ вліяніемъ взаимодѣйствія своихъ частицъ, опять могли сгруппироваться въ меньшіе клубы, съ круговращеніемъ въ сторону вращенія кольца, породившаго ихъ.

Такой новый клубъ, обращающійся вокругъ солнца, при даль-

ремя каждой частицы вращающагося клуба, будучи проложена на плоскость его экватора, есть величина постоянная, а потому скорость вращенія частицъ, приближающихся къ центру клуба, должна возрастать.

[22]) Центробѣжная сила, какъ извѣстно, пропорціональна квадрату скорости, т. е., если скорость увеличится въ 2, 3, 4 раза, то дѣйствіе центробѣжной силы возрастетъ въ 4, 9, 16 разъ.

[23]) Внѣ всякаго сомнѣнія, что кольца Сатурна послужили Лапласу прототипомъ образованія всей солнечной системы. „Правильное распредѣленіе массы колецъ Сатурна, — говоритъ Лапласъ, — вокругъ его центра и въ плоскости его экватора истекаетъ естественно изъ этой гипотезы и безъ нея дѣлается необъяснимымъ“.

нѣйшемъ своемъ охлажденіи и уплотненіи можетъ дать начало планетѣ. Отъ уплотненія клуба формирующейся планеты и отъ возрастанія вслѣдствіе этого скорости вращенія на оси могли образоваться одно или нѣсколько колецъ, давшихъ начало спутникамъ планеты.

Такъ, въ общихъ чертахъ, возникла, по Лапласу, солнечная система.

„Если бы солнечная система,—поясняетъ Лапласъ,—образовывалась съ совершенною правильностью, то орбиты тѣлъ, ее составляющихъ, были бы кругами, плоскости которыхъ, равно какъ и плоскости различныхъ экваторовъ и колецъ, совпали бы съ плоскостью солнечнаго экватора. Но безконечное разнообразіе температуръ и плотностей, существовавшее въ различныхъ частяхъ упомянутыхъ большихъ массъ, произвело эксцентричности ихъ орбитъ и уклоненія ихъ движеній отъ плоскости солнечнаго экватора. Въ нашей гипотезѣ,—замѣчаетъ авторъ,—кометы считаются чуждыми планетной системѣ".

Кометы Лапласъ считалъ небольшими туманностями, блуждающими въ безднахъ небеснаго пространства отъ одной солнечной системы къ другой и утверждалъ, что ихъ движенія одинаково возможны по всѣмъ направленіямъ и подъ всевозможными наклоненіями къ эклиптикѣ, — что и наблюдается въ дѣйствительности. „Эллиптическія и параболическія орбиты, описываемыя этими небесными тѣлами, убѣждаютъ,—говорилъ Лапласъ, — въ вѣрности нашихъ заключеній и большая эксцентричность кометныхъ орбитъ есть одинъ изъ результатовъ нашей гипотезы".

Трудности и противорѣчія въ космогоніи Лапласа.

Что же касается вращеній планетъ вокругъ своихъ осей, а также направленія обращеній спутниковъ вокругъ планетъ,—то эта часть гипотезы Лапсала не отличается убѣдительной ясностью и простотой. Лапсалу нужно было объяснить, въ зависимости отъ первомачальнаго вращенія солнечнаго клуба, всѣ извѣстныя тогда вращенія планетъ и обращенія ихъ спутниковъ справо-налѣво; такъ какъ ему хорошо было извѣстно, что скорости вращенія частицъ солнечнаго клуба должны возрастать по направленію къ его центру,—обстоятельство, зависящее, какъ уже было упомянуто, отъ охлажденія и сжатія солнечной атмосферы, то въ силу этихъ соображеній и кольцо, образовывавшееся на экваторіальныхъ границахъ солнечнаго клуба, не должно было вращаться такъ, какъ, напримѣръ, вращается масляное кольцо въ опытѣ Плато [24]), а

24) Въ опытѣ Плато масляное кольцо вращается, какъ твердое тѣло, на-

другимъ порядкомъ: скорости внутреннихъ слоевъ колецъ (т. е. слоевъ, обращенныхъ къ центру клуба) должны быть больше скоростей наружныхъ слоевъ, и поэтому вращеніе образовывавшагося изъ кольца шара (планеты) должно было быть какъ разъ обратнымъ вращенію общаго клуба и кругообращенію самой планеты. то же самое должно было выйти и со спутниками планетъ.

Этого очевиднаго противорѣчія съ дѣйствительными явленіями Лапласъ избѣжалъ допущеніями треній частицъ и концентрическихъ слоевъ въ образующихся кольцахъ. „Взаимное треніе частицъ каждаго кольца,—говоритъ онъ,—должно было ускорять движеніе однѣхъ и замедлять движеніе другихъ, пока всѣ онѣ не пріобрѣтутъ одно и то же угловое движеніе и пока линейная скорость наружныхъ частей кольца не сдѣлается больше линейной скорости внутреннихъ частей“. Ясно, что только при этихъ послѣднихъ условіяхъ разорвавшееся кольцо можетъ дать направленіе вращенію планеты на оси въ ту же сторону, какъ и направленіе кругообращенія ея вокругъ солнца. Однако, въ этихъ соображеніяхъ о треніяхъ частицъ и замедленіи ихъ вращеній чувствуется уже нѣкоторая натяжка и произвольная искусственность, на которую совершенно основательно нападаетъ Фэй (Faye).

„Такимъ образомъ,—говоритъ Лапласъ,—явленія малой эксцентричности орбитъ планетъ и спутниковъ, малое наклоненіе этихъ орбитъ къ солнечному экватору и, наконецъ, тожество направленія вращательнаго и обращательнаго движеній всѣхъ этихъ тѣлъ съ вращательнымъ движеніемъ солнца истекаютъ изъ предложенной нами гипотезы и даютъ ей высокую степень вѣроятности“.

Насколько велика была увѣренность Лапласа въ томъ, что солнечная система произошла именно такимъ образомъ, какъ онъ даетъ это въ своей космогоніи, свидѣтельствуютъ слѣдующія слова его [25]), знаменательныя въ исторіи науки: „Столь необыкновенныя явленія (т. е. движенія планетъ и спутниковъ по одному и тому же направленію и почти въ одной и той же плоскости),—пишетъ онъ въ „*Изл. сист. міра*“,—не происходятъ отъ неправильныхъ причинъ. Подвергая ихъ вѣроятность вычисленію, мы находимъ, что можно держать пари 200 тысячъ милліардовъ противъ единицы, что они (эти явленія) не суть произведенія случая. А эта вѣроятность далеко превосходитъ вѣроятность большей части историческихъ со-

примѣръ, какъ обручъ, т. е. такъ, что угловыя скорости внутреннихъ и наружныхъ его частицъ равны между собою.

[25]) „Exposition du Système du Monde“. Livre V, chap. VI.

бытій, въ которыхъ никто не сомнѣвается. Поэтому мы, по крайней мѣрѣ, съ такою же увѣренностью должны допустить, что всѣ планетныя движенія направлены какою-то одною первоначальною причиной" [26]).

Выводы изъ космогоніи Лапласа.

Главные выводы, которые вытекаютъ сами собою изъ гипотезы Лапласа, и которые самъ же Лапласъ сдѣлалъ въ своемъ „Изложеніи системы міра", сводятся къ слѣдующимъ положеніямъ:

„1) Вращенія и обращенія планетъ и спутниковъ должны совершаться почти въ одной и той же плоскости и въ одну и ту же сторону (справа-налѣво).

2) Вслѣдствіе увеличенія скорости вращенія отъ сжатія, время обращенія спутниковъ вокругъ планеты должно быть больше времени вращенія самой планеты около своей оси [27]).

3) Кометы не принадлежатъ къ нашей солнечной системѣ, а представляютъ собою небольшія туманности, блуждающія въ небесномъ пространствѣ отъ одной системы къ другой и случайно попадающія въ сферу притяженія нашего солнца" [28]).

Открытія, несогласныя съ взглядами Лапласа

Посмотримъ теперь, насколько выводы и предсказанія, сдѣланные Лапласомъ, оправдались дальнѣйшими фактами, открытыми наукой.

Изслѣдованіе обращенія четырехъ спутниковъ Урана, открытыхъ еще при жизни Лапласа, со временемъ показало, что всѣ эти спутники имѣютъ движеніе обратное тому, какое должно быть по предсказаніямъ Лапласа, т. е., что всѣ 4 спутника движутся вокругъ Урана не справо—налѣво, а наоборотъ: слѣва—направо, такъ какъ наклоненія ихъ орбитъ къ плоскости эклиптики заключаются въ предѣлахъ 97°47′—98°21′.

23-го сентября 1846 г., какъ извѣстно, была найдена астрономомъ Галле (Gallee), по указаніямъ Леверрье (Leverrier), планета Нептунъ; въ слѣдующемъ 1847 г. былъ открытъ Ласселемъ

---

26) Это заключеніе Лапласа поучаетъ насъ, насколько, однако, нужно быть осторожнымъ въ научныхъ выводахъ. Какъ извѣстно, изслѣдованіе обращенія спутниковъ Урана, затѣмъ открытіе Нептуна и его спутника обратили въ ничто эту высокую вѣроятность, вычисленную знаменитымъ авторомъ „Небесной Механики".

27) Это обстоятельство имѣетъ мѣсто также относительно солнца, сравнивая его съ планетами, обращающимися вокругъ него. Какъ извѣстно, ближайшая къ солнцу планета, Меркурій, обращается вокругъ его почти въ 88 сутокъ, тогда какъ само солнце совершаетъ свой полный оборотъ на оси въ 25½ сутокъ.

28) „Exposition du Système du Monde". Note VII et dernière.

спутникъ Нептуна, обращающійся вокругъ планеты въ 5 сутокъ 21 часъ. Орбита Нептунова спутника оказалась имѣющею еще большее наклоненіе къ эклиптикѣ, чѣмъ орбиты спутниковъ Урана, а именно, орбита спутника Нептуна наклонена къ эклиптикѣ подъ угломъ въ 145°7′, и, такимъ образомъ, движеніе его также обратное.

11-го и 17-го августа 1877 г. въ Вашингтонской обсерваторіи Галлемъ (Hall) были открыты два спутника Марса, при чемъ внутренній спутникъ, Фобосъ, одинъ изъ труднѣйшихъ объектовъ для наблюденій, обращается вокругъ своей планеты всего лишь въ 7 ч. 39 м., тогда какъ Марсъ совершаетъ оборотъ на оси въ 24 ч. 37 м. 23 с. Приведенные здѣсь факты, открытые послѣ Лапласа, силою своей очевидности подорвали достовѣрность его космогоніи, несмотря на то, что за вѣрность ея Лапласъ готовъ былъ держать пари 200 тысячъ милліардовъ противъ единицы.

Что же касается кометъ, этихъ случайныхъ, по Лапласу, гостей въ солнечной системѣ, то въ настоящее время никто изъ астрономовъ уже не считаетъ ихъ тѣлами, чуждыми нашему солнечному міру. Параболическія орбиты, приписываемыя кометамъ, въ сущности не что иное, какъ весьма эксцентрическіе эллипсы; такого мнѣнія, по крайней мѣрѣ, въ настоящее время, держится большинство ученыхъ. Араго уже съ опредѣленностью высказывался, что параболическими нѣкоторыя кометныя орбиты мы считаемъ только потому, что большія оси ихъ эллипсовъ такъ велики, что кажутся намъ, при нашихъ измѣрительныхъ средствахъ, безконечными. Такъ, наприм., комета Мессье, открытыя 26 октября 1780 г., по вычисленію Клювера, имѣетъ эллиптическую орбиту съ эксцентрицитетомъ=0,99995, и время обращенія ея составляетъ около 75838 лѣтъ; комета Мове, открытая 7 іюля 1844 г., имѣетъ періодъ обращенія около 100,000 лѣтъ. Орбиты кометъ, имѣющихъ періодъ обращенія въ сотни тысячъ вѣковъ и болѣе, при современныхъ измѣрительныхъ средствахъ астрономіи не могутъ быть точно вычислены, какъ эллиптическія. Такъ какъ эксцентрицитеты такихъ орбитъ будутъ отличаться отъ единицы въ предѣлахъ ошибки, то потому только и самыя орбиты относятъ къ параболическимъ.

Небольшой сравнительно промежутокъ времени, въ теченіе котораго нѣкоторыя кометы могутъ быть наблюдаемы, не позволяетъ отличить эллипса отъ параболы, особенно если этотъ эллипсъ имѣетъ величину эксцентрицитета, близкую къ единицы; вотъ почему, вообще, существованіе у кометъ параболическихъ орбитъ подвержено большему сомнѣнію.

Такъ какъ наша система перемѣщается въ небесномъ пространствѣ и несется съ громадною скоростью къ одному изъ центровъ, находящихся въ созвѣздіи Геркулеса близъ звѣзды ρ Herculis, то очевидно, что періодическія кометы, съ эллиптическими орбитами, должны участвовать въ этомъ міровомъ движеніи системы; что же касается кометъ съ параболическими орбитами, которыхъ насчитано около половины всѣхъ извѣстныхъ намъ кометъ, то едва ли заслуживаетъ вѣроятія, чтобы эти небесныя тѣла въ такомъ изобиліи блуждали въ безпредѣльныхъ безднахъ небеснаго пространства, что наша солнечная система въ какія-нибудь 2 тысячи лѣтъ могла встрѣтить ихъ около трехъ сотенъ.

Знаменательное изреченіе Кеплера, что кометъ въ небесномъ пространствѣ такъ же много, какъ рыбъ въ океанѣ (sicut pisces in oceano), если, пожалуй, и до сихъ поръ остается справедливымъ, то, однако, съ тѣхъ поръ, какъ поражающіе воображеніе размѣры вселенной стали для насъ болѣе или менѣе извѣстны, можно усомниться уже, чтобы кометы въ этомъ безконечномъ міровомъ океанѣ столь же часто намъ попадались, какъ рыбы въ моряхъ.

Съ гораздо большимъ вѣроятіемъ слѣдуетъ допустить, какъ это и дѣлаютъ современные астрономы, что параболическія орбиты суть эллипсы, вытянутые на громадное пространство, и что всѣ кометы, огибающія солнце, принадлежатъ нашей же солнечной системѣ и участвуютъ въ ея міровомъ перемѣщеніи по направленію къ точкѣ въ созвѣздіи Геркулеса.

Мысль Лапласа, что кометы являются къ намъ изъ безднъ небеснаго пространства, уже не можетъ найти теперь глубоко убѣжденныхъ защитниковъ.

5. Какъ ни старались вначалѣ соглашать космогонію Лапласа съ вновь открываемыми фактами и явленіями, замѣчаемыми въ небесномъ пространствѣ, но, однако, она уже не могла въ чистомъ своемъ видѣ устоять подъ напоромъ новыхъ фактовъ. Космогонія Фэя.

Несогласіе гипотезы Лапласа съ дальнѣйшими фактами побуждало многихъ ученыхъ къ старанію находить то или другое объясненіе наблюдаемымъ уклоненіямъ; но въ концѣ концовъ французскій астрономъ Фэй (Faye) взялся за коренную переработку космогоніи Лапласа. Въ сочиненіи своемъ „О происхожденіи міра" („Sur l'origine du Monde") Фэй [29]) значительно расширилъ задачи

[29]) Г. Фэй (Hervé Faye), современный французскій астрономъ и метеорологъ, родился въ С. Бенуа въ 1814 г., членъ Парижскаго Института и Бюро долготъ,

космогоніи. „Космогоническія попытки,—по его словамъ,—должны теперь прилагаться ко всей совокупности міровъ, составляющихъ вселенную. Космогоническая задача должна расширяться, но отъ этого она не сдѣлается недоступною“.

Собственное движеніе солнечной системы въ міровомъ пространствѣ, классификація звѣздъ и туманностей по ихъ физико-химическому строенію, теорія двойныхъ и, вообще, кратныхъ звѣздъ, теорія строенія солнца въ связи съ вопросомъ о перемѣнныхъ звѣздахъ, связь нѣкоторыхъ кометъ съ явленіями падающихъ звѣздъ, наконецъ, механическая теорія теплоты въ связи съ общимъ закономъ сохраненія энергіи,—всѣ эти завоеванія новѣйшей науки послужили матеріаломъ для перестройки космогоніи на совершенно новыхъ началахъ.

Въ построеніи своей космогонической гипотезы Фэй поступилъ прежде всего такъ, какъ поступали великіе теоретики органическаго естествознанія: Кювье, Ламаркъ и особенно Дарвинъ. Подобно имъ, Фэй классифицировалъ міры вселенной по наиболѣе типичнымъ признакамъ, указаннымъ современными методами наблюденія и изслѣдованія. Основою для своей классификаціи [30]) онъ принялъ физико-механическую структуру міровъ, насколько она могла быть изслѣдована современными способами и методами на-

---

авторъ многихъ выдающихся трудовъ по астрономіи и метеорологіи, среди которыхъ особенно извѣстны его изслѣдованія о буряхъ и циклонахъ „Sur les Tempetes“, а также обширный курсъ астрономіи для политехнической школы и курсъ мореходной астрономіи (Cours d'Astronomie nautique). Послѣднее сочиненіе Фэя „Sur l'origine du Monde, Théories cosmogoniques des anciens et des modernes“ (Paris, 1884) выдержало уже 2 изданія на французскомъ языкѣ и переведено на многіе европейскіе, въ томъ числѣ и на русскій, на которомъ въ короткое время появилось вторымъ изданіемъ,—рѣдкій успѣхъ для научной книги.

[30]) Классификація міровъ по Фэю:

Туманности	безформенныя	разсѣянныя	
		съ отверстіями	
		съ отростками	
	правильныя	кольцеобразныя	
		планетообразныя	туманныя звѣзды
Звѣздныя образованія	отдѣльныя звѣзды	бѣлыя	
		желтыя	перемѣнныя звѣзды
		красныя	звѣзды съ планетами и без планетъ
	двойныя звѣзды и кратныя		
	звѣздныя кучи (звѣздн. скопленія)	неправильныя	
		спиралевидныя	звѣзды катастрофическія
		правильныя	

блюденій, среди которыхъ, какъ извѣстно, выдающееся мѣсто заняли спектральный анализъ, фотографія и фотометрическія изслѣдованія.

Однимъ изъ главнѣйшихъ и труднѣйшихъ вопросовъ, на который предшествующія космогоніи не могли дать сколько-нибудь удовлетворительнаго отвѣта, и который выяснился лишь во 2-й половинѣ текущаго столѣтія, — есть вопросъ о раскаленности звѣздъ вообще и нашего солнца въ частности. Раскаленность звѣздъ.

До утвержденія принциповъ термодинамики вопросъ о раскаленномъ состояніи міровъ представлялся для космогонистовъ, включая и Лапласа, камнемъ преткновенія и не могъ быть ими иначе постигнутъ, какъ только путемъ допущенія, что эта раскаленность вообще свойственна была матеріи хаоса изначала его существованія; теперь же вопросъ этотъ въ механической теоріи теплоты получилъ наиболѣе прочную и достовѣрную обоснову.

Есть полное основаніе теперь думать, что въ началѣ концентраціи хаотическаго вещества въ центрѣ какой-либо туманной массы теплота могла развиться вслѣдствіе постепенныхъ паденій къ центру частицъ космической матеріи, разсѣянной въ безпредѣльномъ пространствѣ, затѣмъ, что возрастаніе температуры происходило уже отъ уплотненія массы подъ вліяніемъ увеличивавшейся центральной силы. Такимъ образомъ, въ продолжительномъ процессѣ формированія небесныхъ тѣлъ часть механической энергіи (энергія движенія или кинетическая энергія падающихъ частицъ) переходила постепенно въ тепловую энергію. Вычисленія Гельмгольца показываютъ, что въ настоящее время солнечная система содержитъ лишь $\frac{1}{454}$ часть первоначальнаго запаса механической энергіи, вся же остальная часть большею частью превратилась въ теплоту и излучилась въ міровое пространство; всего же первоначальнаго количества энергіи было бы достаточно для нагрѣванія водяной массы, равной массѣ солнца и планетъ вмѣстѣ взятыхъ, до 28 милліоновъ градусовъ.

Такимъ путемъ, по современнымъ научнымъ соображеніямъ, основаннымъ на принципахъ термодинамики и законѣ сохраненія энергіи, возникло раскаленное состояніе солнца и всѣхъ вообще звѣздъ.

Механическая теорія теплоты уяснила общность причины раскаленнаго состоянія міровыхъ тѣлъ и указала на постепенную градацію ихъ происхожденія и развитія изъ хаотической стадіи [31])

---

[31]) Физико-механическія вычисленія, въ связи съ данными сравнительной

и такимъ образомъ поставила новѣйшую космогонію на прочный фундаментъ.

Размѣры статьи не позволяютъ намъ останавливаться на деталяхъ и подробномъ развитіи космогонической системы Фэя, которая, кстати сказать, хотя является значительно сложнѣе гипотезы Лапласа, но зато и захватываетъ въ себя всѣ факты и явленія небеснаго пространства, добытые новѣйшими методами и способами наблюденій; а потому мы остановимся здѣсь лишь на общихъ соображеніяхъ о возникновеніи изъ хаотической матеріи клуба, давшаго начало солнечной системѣ, а затѣмъ сосредоточимся на развитіи, главнымъ образомъ, нашего солнечнаго міра.

Вихревыя движенія и ихъ аналогіи.

По Фэю, вселенная вначалѣ сводилась къ общему хаосу, крайне разрѣженному, состоящему изъ всѣхъ элементовъ земной химіи, болѣе или менѣе перемѣшанныхъ между собою. Эта матерія, подчиненная взаимнымъ притяженіямъ своихъ частицъ, была съ изначала воодушевлена, если можно такъ выразиться, различными движеніями, которыя производили раздѣленіе ея на клочья или клубы. Эти клубы матеріи сохраняли свое быстрое перемѣщеніе и внутреннія, чрезвычайно медленныя вихревыя движенія. Миріады хаотическихъ клочьевъ матеріи породили въ безднахъ пространства, путемъ прогрессивнаго сгущенія, различные міры вселенной [32]).

Такимъ образомъ, Фэй беретъ тотъ же хаосъ, какъ и предыдущіе космогонисты, но допускаетъ въ немъ, подобно Декарту, изначальное существованіе вихреобразныхъ вращеній вещества въ различныхъ направленіяхъ. Эти вихревыя движеніе въ хаосѣ могли порождаться просто различіемъ скоростей разнообразныхъ потоковъ матеріи, подобно тому, какъ получаютъ начало вихри въ нашей атмосферѣ или же водовороты въ рѣкахъ.

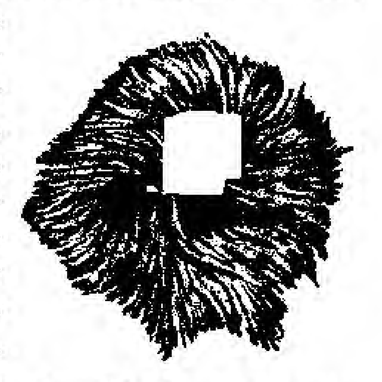
Подобныя вихревыя движенія мы наблюдаемъ также въ атмосферѣ солнца въ формѣ воронкообразныхъ образованій, дающихъ начало солнечнымъ пятнамъ (см. фиг. 275) и въ нѣкоторыхъ спиралевидныхъ туманностяхъ, какъ, напримѣръ, туманность въ созвѣздіи Дѣвы (Virgo; $AR = 12\ \ 13^m$, $\delta = +15°4'$) или же туманъ

геологія, привели къ любопытнымъ заключеніямъ насчетъ возраста нашей земли. Оказалось, что вода въ жидкомъ видѣ могла уже существовать на землѣ около 10 милліоновъ лѣтъ тому назадъ; слѣдовательно, по крайней мѣрѣ не раньше этого періода могла возникнуть на землѣ органическая жизнь.

[32]) Желающихъ обстоятельно познакомиться съ гипотезою Фэя отсылаемъ къ его сочиненію: „Происхожденіе міра“ (русск. переводъ со 2-го французскаго изданія).

въ созвѣздіи Canes Venatici ($AR = 13^h 25^m$, $\delta = +47^\circ 49'$) (см. фиг. 276 и 277), свидѣтельствующихъ о томъ, что масса ихъ охвачена вихревыми движеніями. Вообще, изученіе туманныхъ пятенъ, съ такимъ успѣхомъ начатое В. Гершелемъ и продолженное послѣдующими астрономами, пролило много свѣта въ вопросѣ о развитіи міровъ. Эти объекты небеснаго пространства даютъ намъ послѣдовательныя фазы обособившейся хаотической матеріи, начиная съ едва свѣтящейся, мало замѣтной даже въ самые сильные телескопы, туманности и кончая яркими звѣздами, окруженными болѣе или менѣе ярко свѣтящимся веществомъ (см. фиг. 274).

Трудно, однако, объяснить по Фэю, допуская смѣшеніе всѣхъ элементовъ земной химіи, такое разнообразіе въ физическомъ составѣ различныхъ міровыхъ тѣлъ. Особенно выдѣляются въ этомъ отношеніи туманности; многія изъ нихъ, какъ извѣстно, даютъ только три характерныя линіи спектра: одну — водорода, другую — азота и третью линію, не подходящую почти ни къ одному изъ извѣстныхъ намъ газообразныхъ веществъ. Не показываетъ ли это обстоятельство, что элементы земной химіи образовались изъ одной и той же газообразной первоматеріи (хаоса) путемъ постепеннаго сгущенія ея въ міровомъ пространствѣ въ теченіе вѣковъ. Еще въ 1878 г. Локайеръ (I. Norman Lockyer) пришелъ къ заключенію, на основаніи астрономическихъ данныхъ, что такъ называемые элементы должны быть признаны тѣлами сложными. Пониженіе температуры въ массѣ вещества звѣзды, по Локайеру, сопровождается постепенно возрастающею сложностью химическаго состава.



Фиг. 275. Солнечное пятно.

На происхожденіе элементовъ изъ одной матеріи указывали неоднократно и сами химики; къ этому же взгляду приходятъ и астрономы, наблюдая строеніе вещества въ міровой лабораторіи. „Какъ бы ни былъ разрѣшенъ вопросъ о единствѣ матеріи, — говоритъ русскій проф. астрономіи Клейберъ, — но во всякомъ случаѣ звѣздной астрономіи предстоитъ пролить наибольшій свѣтъ на этотъ вопросъ“.

Развитіе вселенной по Фэю можетъ быть сведено къ слѣдующимъ главнымъ пунктамъ [33]).

---

[33]) *К. Вольфъ.* „Космогоническія гипотезы“ (Les Hypotèses cosmogoniques).

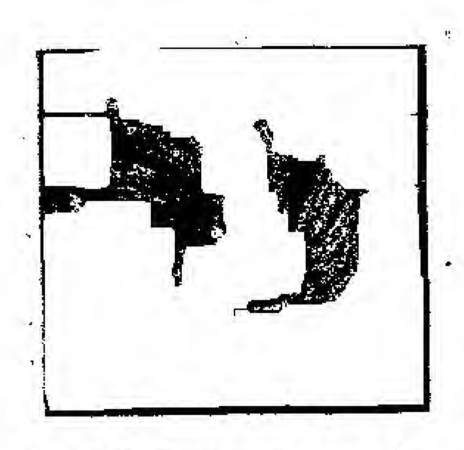
Стадія развитія хаоса.

1) Существованіе изначала вещей хаоса, заключающаго въ себѣ все вещество вселенной и обладающаго всею совокупностью энергіи, развившейся потомъ въ различные виды энергіи вселенной.

2) Раздѣленіе хаоса на множество туманностей, постепенное сгущеніе которыхъ произвело звѣздныя системы и системы планетныя.

3) Образованіе внутри туманности колецъ, участвующихъ въ общемъ вращеніи, чаще всего колецъ неправильной формы и дающихъ начало туманностямъ спиральнымъ или кольцеобразнымъ.

4) Въ частномъ случаѣ, когда туманность сферична и однородна — образованіе правильныхъ колецъ, расположенныхъ почти въ плоскости ея экватора и дающихъ начало планетнымъ туманностямъ, которыя, циркулируя въ томъ же направленіи, охватываются вращательнымъ движеніемъ.



Фиг. 276. Спиральный туманъ въ созвѣздіи Virgo.



Фиг. 277. Спиральный туманъ въ созвѣздіи Canes venatici.

5) Образованіе внутри этихъ планетныхъ туманностей вторичныхъ системъ колецъ и спутниковъ. Если кольца перваго порядка образовались до существованія центральнаго сгущенія, т. е. будущаго солнца системы, то вращеніе планетъ будетъ прямое, какъ и вращеніе ихъ спутниковъ; если же кольца образовались въ эпоху, когда центральное сгущеніе сдѣлалось преобладающимъ, то вращеніе будетъ обратное.

Такъ какъ въ настоящее время не подлежитъ сомнѣнію, что солнечная система (т. е. солнце со всѣми планетами и кометами) движется въ міровомъ пространствѣ со скоростью, далеко превосходящею скорость пушечнаго ядра, то, слѣдовательно, образованіе солнечной системы не можетъ быть разсматриваемо неза-

висимо отъ образованія всей вселенной. Эта мысль, какъ уже видѣлъ читатель, высказывалась и предыдущими космогонистами, но однако она получила свое осуществленіе только въ новѣйшей космогоніи Фэя. Солнечная система въ своемъ образованіи и развитіи представляетъ лишь частный случай въ серіи развитія міровъ вселенной.

Условія, приведшія къ образованію нашей солнечной системы, опредѣляются въ гипотезѣ Фэя вышеуказанными пунктами 4 и 5.

Что же касается образованія двойныхъ, тройныхъ и вообще кратныхъ звѣздныхъ системъ, то интересующихся этими вопросами отсылаемъ къ сочиненію самого Фэя или къ изложенію его теоріи въ сочиненіи проф. Хандрикова („Описательная астрономія" 2-е изд. § 63 — 67); здѣсь же займемся краткимъ изложеніемъ развитія нашей солнечной системы, какъ даетъ Фэй въ своемъ сочиненіи: „Sur l'origine du Monde".

Но прежде скажемъ нѣсколько словъ относительно притяженія и напомнимъ тѣ механическіе принципы, по которымъ происходитъ притяженіе матеріальной точки массою различной структуры. Механическіе принципы гипотезы Фэя.

Матеріальный сферическій слой (въ частности сфера) внѣшнюю матеріальную точку притягиваетъ такъ, какъ будто бы вся его масса сосредоточена въ центрѣ и по одному изъ трехъ слѣдующихъ законовъ:

1) Притяженіе пропорціонально разстоянію отъ центра, по формулѣ Ar.

2) Притяженіе обратно пропорціонально квадрату разстоянія (притяженіе Ньютоніанское).... $\frac{B}{r^2}$.

3) Протяженіе, составленное изъ этихъ двухъ..... $ar+\frac{b}{r^2}$ [34]).

Допустимъ, что вначалѣ имѣлся сферическій клубъ матеріи съ равномѣрно распредѣленнымъ въ немъ веществомъ, т. е. съ веществомъ однообразной плотности, или, иначе говоря, клубъ безъ всякаго уплотненія къ центру, — тогда притяженіе каждой частицы такого клуба по направленію къ центру будетъ прямо пропорціонально разстоянію, т. е. выразится формулою Ar.

---

[34]) r — разстояніе матеріальной точки отъ центра сферической массы; A, B, a и b — коэффиціенты, зависящіе отъ массы притягивающей сферы, при чемъ $A>a$ и $B>b$.

При притяженіи элементовъ по закону Ньютона однородный сферическій слой не притягиваетъ точки, лежащей внутри его.

Наконецъ, когда центръ такого клуба окончательно сформируется и образуетъ обособленное тѣло (ядро) — солнце или, что тоже, звѣзду, — тогда онъ, какъ извѣстно, притягиваетъ всякую внѣ его находящуюся матеріальную точку по закону Ньютона, т. е. по формулѣ $\frac{B}{r^2}$.

Въ промежуточной же стадіи, когда матерія клуба начинаетъ уже сгущаться въ его центрѣ, т. е. въ эпоху уплотненія матеріи и концентраціи клуба, но когда ядро клуба еще не обособилось, — притяженіе будетъ происходить по формулѣ, составленной изъ первыхъ двухъ, а именно по закону $ar + \frac{b}{r^2}$ (гдѣ $a < A$ и $b < B$).

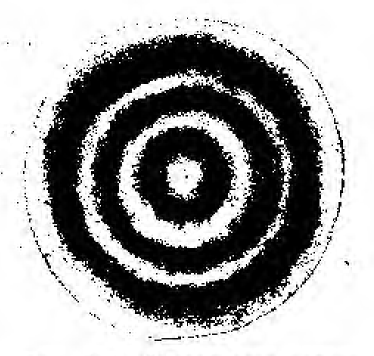
Приложеніе механическихъ принциповъ къ гипотезѣ.

Развитіе солнечной системы началось, по Фэю, изъ сферическаго клуба, образовавшагося изъ первоначальнаго вихреваго потока, существовавшаго изначала въ общемъ хаосѣ вселенной. Этотъ первоначальный клубъ матеріи, занимавшій сферу, несравненно бо́льшую сферы, описанной радіусомъ орбиты Нептуна, имѣлъ вначалѣ однородную плотность, которая по вычисленію, по крайней мѣрѣ въ 250 милліоновъ разъ была меньше плотности того воздуха, какой остается въ пустотѣ пневматической машины. Медленное спиралевидное или вихревое движеніе однороднаго клуба, сообщенное ему міровымъ вихремъ, мало-по-малу перешло въ одно общее круговращеніе. Клубъ началъ вращаться подобно тому, какъ вращается на оси твердое тѣло, т.-е. линейныя скорости его вращающихся частицъ возрастали по направленію отъ центра къ периферіи (окружности сферы) по закону прямой пропорціональности разстояніямъ этихъ частицъ отъ центра клуба.

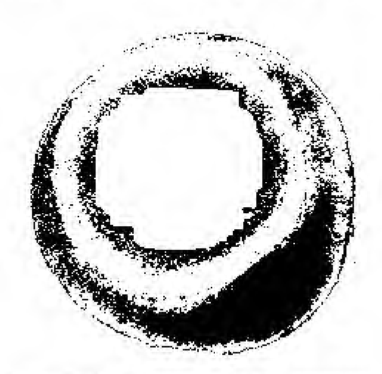
При такомъ способѣ вращенія отъ взаимодѣйствія внутреннихъ частичныхъ силъ, могло однако то тамъ, то сямъ происходить нарушеніе равновѣсія и измѣненіе плотности вещества, а потому и могли весьма легко образовываться внутри клуба туманныя кольца, вращающіяся вокругъ центра по круговымъ или мало эксцентрическимъ орбитамъ. Въ дальнѣйшемъ развитіи этого хаотическаго клуба, зависѣвшемъ отъ уплотненія матеріи въ его центрѣ, внутреннія кольцеобразныя движенія преобразовывались и видоизмѣнялись въ зависимости отъ постепеннаго перехода дѣйствія центральной силы отъ закона Ar къ закону $\frac{B}{r^2}$. Такъ, по крайней мѣрѣ, можно объяснить себѣ постепенную градацію въ развитіи планетъ и спутниковъ нашей солнечной системы.

При началѣ круговращенія вещества, когда клубъ еще не обнаруживалъ признаковъ уплотненія и центральная сила дѣйствовала по закону Ar, линейныя скорости отдѣльныхъ частицъ клуба, или едва только начинавшихъ обозначаться колецъ, возрастали отъ внутреннихъ частей къ внѣшнимъ, но, однако, такъ, что времена обращеній колецъ оставались одинаковы, т. е. кольца обращались подобно тому, какъ твердые обручи вращаются вокругъ общаго ихъ центра, если ихъ связать неподвижнымъ діаметромъ (см. фиг. 278).

Постепенное уплотненіе клуба, равно какъ и его круговращеніе, не могло, конечно, происходить съ геометрическою правильностью, а потому внутреннія кольца клуба не могли сжиматься и уплотняться равномѣрно, какъ и частицы его двигаться съ одинаковой угловой скоростью. Кольцо, образовавшееся близъ центра



Фиг. 278. Образованіе колецъ вокругъ незаполненнаго центра.



Фиг. 279. Уплотненіе и концентрація матеріи въ кольцѣ.

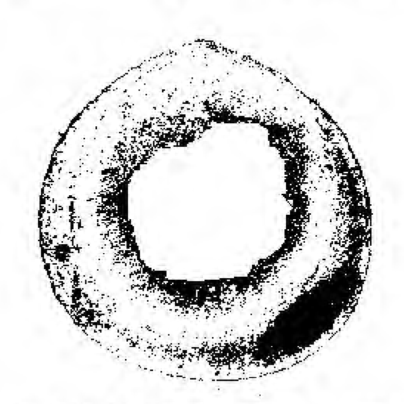
клуба, могло отъ взаимодѣйствія собственныхъ частицъ, а отчасти и подъ вліяніемъ начавшагося уже сгущенія матеріи въ центрѣ, испытывать значительныя трансформаціи. Въ нѣкоторыхъ частяхъ его могло произойти уплотненіе, и вслѣдствіе этого дальнѣйшее стягиваніе къ мѣсту уплотненія остальной матеріи кольца и, наконецъ, разрывъ самого кольца въ противоположной уплотненію части (см. фиг. 279 и 280).

Аналогичный объектъ небеснаго пространства съ явно обозначеннымъ кольцомъ и слабымъ уплотненіемъ въ центрѣ представляетъ намъ кольцеобразная туманность въ созвѣздіи „Lyra" (см. фиг. 281).

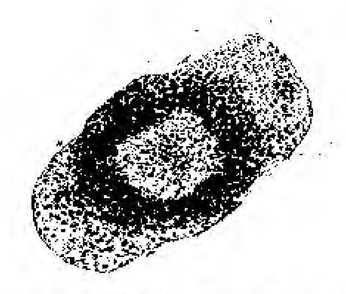
Но разъ произойдетъ разрывъ кольца, тогда матерія его, вслѣдствіе неравенства линейныхъ скоростей внутреннихъ и наружныхъ

его слоевъ, образуетъ клубъ съ вихреобразнымъ движеніемъ, направленнымъ въ сторону вращенія кольца (фиг. 282).

Порядокъ возникновенія планетъ. Такъ какъ, по гипотезѣ Фэя, основной клубъ хаотической матеріи имѣлъ вращеніе справа-налѣво, то, вслѣдствіе того, что на-



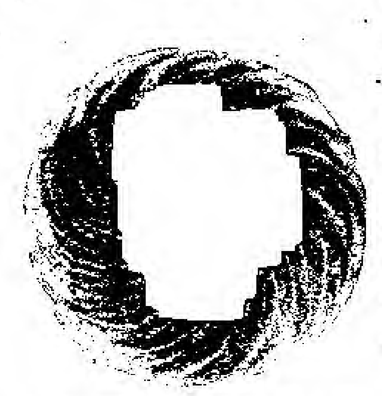
Фиг. 280. Разрывъ кольца и стягиваніе матеріи къ его центру.



Фиг. 281. Кольцеобразная туманность въ созвѣздіи Lyra.

ружная скорость кольца возьметъ перевѣсъ надъ внутренней, клубъ, образовавшійся изъ распавшагося кольца, будетъ вращаться тоже справа-налѣво, какъ вращалось самое кольцо, породившее его.

Такимъ, очевидно, образомъ возникли планеты и ихъ спутники, вращающіеся справа-налѣво въ сторону первоначальнаго вращенія основного хаотическаго клуба. Въ эпоху дѣйствія центральной силы по закону Ar возникли, значитъ, всѣ планеты отъ Меркурія до Сатурна включительно.



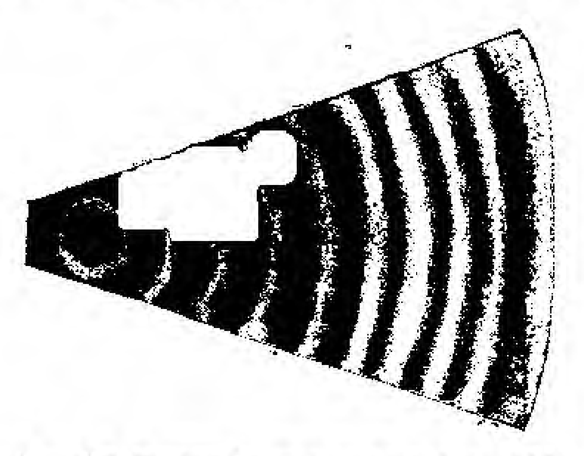
Фиг. 282. Клубъ съ вихреобразнымъ вращеніемъ.

Что же касается Урана и Нептуна, спутники которыхъ вращаются въ обратномъ направленіи, т. е. слѣва-направо, то здѣсь, значитъ, образованіе планетъ происходило при другихъ условіяхъ.

Послѣ того, какъ въ центрѣ туманнаго клуба уже сформировалось ядро (солнце, см. фиг. 283), вращеніе сохранившихся колецъ должно было принять уже совершенно другой характеръ. При дѣйствіи центральной силы по закону Ньютона, т.-е. по формулѣ $\frac{B}{r^2}$, вращеніе колецъ, равно

какъ и образовавшихся планетъ, должно было происходить по законамъ Кеплера, въ силу которыхъ скорость вращенія колецъ должна возрастать отъ периферіи къ центру клуба. Въ эту эпоху въ сохранившемся и не распавшемся еще кольцѣ внутренніе и внѣшніе его слои должны измѣнить свои линейныя скорости вращеній, и именно такъ, что скорость внѣшнихъ слоевъ кольца сдѣлается меньше скорости внутреннихъ его слоевъ; и если въ эту эпоху произойдетъ разрывъ кольца, то очевидно, что образовавшаяся изъ него планета будетъ вращаться на оси въ сторону, обратную круговращенію самого кольца.

Фэй допускаетъ, что Нептунъ образовался послѣ окончательнаго сформированія солнца и вращается на оси въ сторону обрат-



Фиг. 283. Зарожденіе ядра въ туманномъ клубѣ.

ную (слѣва—направо)[35], какъ обращается и его спутникъ, движущійся въ плоскости Нептуновой орбиты.

Такъ какъ спутникъ возникъ изъ кольца планеты подобно тому, какъ планета возникла изъ кольца общаго солнечнаго клуба, то допуская, что вращеніе Нептуна совершается въ ту же сторону, въ какую обращается его спутникъ, мы придемъ къ заключенію, что спутникъ Нептуна сформировался еще до эпохи центральнаго сгущенія въ самой планетѣ.

Движеніе спутниковъ Урана представляется тоже обратнымъ, т. е. происходитъ слѣва-направо, но обращеніе ихъ вокругъ планеты происходитъ въ плоскости, почти перпендикулярной къ пло-

---

[35]) Наблюденіями, однако, и до сихъ поръ еще не удалось опредѣлить, въ какую сторону вращается Нептунъ.

скости орбиты Урана. Эту ненормальность въ обращеніи спутниковъ Фэй объясняетъ тѣмъ обстоятельствомъ, что Уранъ со своими спутниками образовался изъ кольца въ промежуточную стадію между переходомъ дѣйствія центральной силы отъ закона Ar къ закону, $\frac{B}{r^2}$, когда сила дѣйствовала на кольцо по закону $ar + \frac{b}{r^2}$, т. е. въ эпоху начавшагося сгущенія въ центрѣ клуба, или, что то же, во время концентраціи матеріи въ солнечномъ ядрѣ.

Система Урана, по гипотезѣ Фэя, возникла въ промежутокъ между возникновеніемъ планемъ съ прямымъ движеніемъ спутниковъ и эпохою Нептуна, съ совершенно обратнымъ движеніемъ спутника.

По всей вѣроятности, движенія кольца, давшаго систему Урана, было сначала прямое, потомъ, по мѣрѣ концентраціи матеріи въ центрѣ общаго клуба, т. е. по мѣрѣ возрастанія коэффиціента b въ формулѣ $ar + \frac{b}{r^2}$ и уменьшенія коэффиціента a, перемѣнилось мало-по-малу на обратное. Столкновеніе этихъ двухъ противоположныхъ стремленій и притокъ новой матеріи въ различныхъ направленіяхъ къ вновь возникающей планетѣ — могли измѣнить плоскость вращенія кольца. Во всякомъ случаѣ, нѣкоторая странность въ обращеніи спутниковъ Урана должна быть объяснена тою промежуточною эпохой, когда формировалась его система.

Такимъ образомъ, по гипотезѣ Фэя, кольца, давшія начало планетамъ и ихъ спутникамъ съ прямымъ движеніемъ, отъ Меркурія до Сатурна включительно, возникли раньше, чѣмъ начали формироваться центры, т. е. планеты раньше солнца, а спутники раньше планетъ; Уранъ со спутниками возникъ въ эпоху формированія солнца, а система Нептуна уже послѣ того, какъ солнце, окончательно стянувъ въ свои нѣдра оставшуюся матерію, сформировалось въ опредѣленный обособленный шаръ.

Время обращенія колецъ и планетъ, въ теченіе эпохъ сгущенія и формированія матеріи въ центрѣ клуба, постепенно уменьшалось. По всей вѣроятности, начальныя времена обращеній возникавшихъ планетъ измѣрялись десятками и даже сотнями тысячелѣтій. Движенія тѣлъ солнечной системы начали болѣе или менѣе прочно устанавливаться только лишь послѣ сформированія солнечнаго ядра [36]). Прочность нашей солнечной системы была изслѣдована Лапласомъ.

---

[36]) Нѣкоторые ученые полагаютъ, что солнечное ядро и въ настоящее

„Какова бы ни была истинная причина всѣхъ движеній въ солнечной системѣ,—говоритъ Лапласъ,—но достовѣрно, что элементы планетной системы распредѣлены такъ, что она представляетъ наибольшую прочность, если только она не будетъ возмущена какими-либо посторонними неизвѣстными намъ причинами".

Современное состояніе солнечной системы.

6. Лапласъ, изучая вѣковыя ускоренія средняго движенія луны, указалъ, между прочимъ, для объясненія ея движеній на великое значеніе періодическихъ приливовъ, производившихся дѣйствіемъ земли на лунный сфероидъ въ эпоху полужидкаго его состоянія. Замедленіе вращательнаго движенія спутника нашей земли, сказавшееся въ равенствѣ угловыхъ вращательныхъ и обращательныхъ (орбитальныхъ) скоростей, онъ приписывалъ задерживающему дѣйствію этихъ приливовъ—дѣйствію, происходившему отъ вязкости и тренія жидкой или полужидкой оболочки, которая окружала отвердѣвавшее лунное ядро.

Тогда же былъ поднятъ не менѣе интересный вопросъ и о замедленіи вращенія земли, производимомъ въ свою очередь дѣйствіями приливовъ, возбуждаемыхъ на ней луною.

Всѣ эти вопросы, имѣющіе глубокій теоретическій смыслъ, вызвали около средины текущаго столѣтія цѣлый академическій споръ, побудившій со временемъ англійскаго ученаго Дж. Дарвина взяться за строгое математическое изслѣдованіе вѣковыхъ измѣненій въ движеніи луны отъ дѣйствій приливовъ, указанныхъ Лапласомъ.

Въ результатѣ своихъ изысканій Дж. Дарвинъ пришелъ къ выводу, что солнечная система, вопреки мнѣнію Лапласа, даже и въ настоящее время не можетъ считаться вполнѣ установившеюся [37]).

Приливы по теоріи Дж. Дарвина.

Главные выводы и положенія его теоріи могутъ быть представлены въ слѣдующихъ словахъ.

Дѣйствіе приливовъ обусловливаетъ не только деформацію (измѣненіе вида и формы) слоя жидкости, покрывающаго планету, но сказывается также въ деформаціи всей массы этой планеты, если она не абсолютно тверда.

время испытываетъ значительное сжатіе, которое восполняетъ потерю теплоты, излучаемой солнцемъ въ міровое пространство. Такъ, по вычисленію Гельмгольца, уменьшеніе діаметра солнца на 70 метровъ ежегодно или на 7 километровъ въ столѣтіе было бы вполнѣ достаточно для того, чтобы непрерывно поддерживалась его температура. Едва ли, однако, теперь это происходитъ. Солнце, повидимому, продолжаетъ терять свою теплоту, не обнаруживая замѣтнаго сжатія.

[37]) Свои изслѣдованія въ шести мемуарахъ Дж. Дарвинъ представилъ Лондонскому Королевскому обществу въ 1879—1882 г.

Такъ какъ тѣла нашей солнечной системы даже въ настоящее время, по всей вѣроятности, представляютъ собою массы, способныя къ деформаціи,—какъ, напр., Юпитеръ, вѣроятно также Уранъ и Нептунъ, —то въ предшествующія эпохи эти тѣла путемъ приливовъ, производимыхъ другъ на другѣ, вслѣдствіе неравномѣрности вращеній и обращеній, деформировались въ большей степени. Солнце производило приливы на планетахъ, планеты на спутникахъ и обратно. Треніе текучихъ массъ полужидкаго сфероида противодѣйствовало движеніямъ приливовъ, которые вслѣдствіе этого оказывали вліяніе на измѣненіе вращательныхъ и орбитальныхъ скоростей. Вслѣдствіе значительной разницы угловыхъ скоростей вращенія и обращенія планетъ и ихъ спутниковъ въ предшествующія эпохи развитія міра и дѣйствіе приливовъ въ эти эпохи должно было проявляться въ росличной степени.

Дарвинъ допускаетъ, что въ эпоху формированія земли и луны, т. е., когда спутникъ уже отдѣлился отъ планеты, луна вращалась на оси нѣсколько медленнѣе, чѣмъ земля. Но вслѣдствіе тренія приливовъ, двигавшихся въ полужидкомъ сфероидѣ въ сторону, обратную вращенію, постепенно происходило уменьшеніе вращательныхъ скоростей, при чемъ, конечно, продолжительность вращенія и планеты и ея спутника соотвѣтственно возрастала. Это обстоятельство имѣло мѣсто до сихъ поръ, пока въ центрѣ планеты и спутника не образовалось твердое ядро, препятствовавшее дальнѣйшей деформаціи сфероида. По мѣрѣ уплотненія ядра, треніе внутреннихъ частицъ полужидкаго сфероида, происходившее отъ дѣйствія приливовъ, все болѣе и болѣе возрастало; наконецъ, когда сфероидъ уплотнился настолько, что передвиженіе частицъ внутри его сдѣлалось невозможнымъ, то энергія движенія—въ силу закона сохраненія энергіи—должна было перейти въ тепловую.

Такимъ образомъ, треніе частицъ внутри полужидкаго отвердѣвающаго сфероида могло обусловить повышеніе температуры его внутреннихъ слоевъ.

Если земной шаръ дѣйствительно испыталъ при деформаціи подобное треніе внутреннихъ частицъ, то внутренняя теплота, развившаяся при этихъ условіяхъ, могла бы оказаться достаточною для того, чтобы онъ охлаждался въ теченіе $3^1/_2$ милліоновъ лѣтъ до настоящей своей температуры подпочвенныхъ слоевъ.

Для планеты же, съ установившимся уже ядромъ и вполнѣ сформировавшейся, количество вращательнаго движенія, по мѣрѣ того, какъ оно уничтожается треніемъ приливовъ, должно по вычисле-

нію Дарвина переходить въ нѣкоторое количество орбитальнаго движенія того спутника, который производитъ приливы въ ея газообразной или жидкой оболочкѣ, и при томъ условіи, если скорость обращенія спутника меньше скорости вращенія планеты.

Въ окончательномъ результатѣ дѣйствія солнца на планеты, какъ это дѣйствіе проявляется въ приливахъ, получается замедленіе вращенія планетъ, увеличеніе ихъ орбитальныхъ скоростей и удаленіе ихъ отъ солнца. Эти же обстоятельства имѣютъ мѣсто и по отношенію къ землѣ и ея спутнику.

Дѣйствіе приливовъ, обусловленныхъ землей на своемъ спутникѣ, въ концѣ концовъ привело къ тому, что луна обращена къ землѣ одною и тою же стороной.

Согласно гипотезѣ туманныхъ (хаотическихъ) массъ, Дарвинъ полагаетъ, что среднее разстояніе планетъ отъ солнца могло измѣниться сравнительно немного [38]), но дѣйствіе приливъ постоянно оказывало вліяніе на эксцентрицитеты орбитъ, наклоненіе орбитъ и осей, а также, безъ сомнѣнія, и на времена вращеній и обращеній. Подробное и детальное изслѣдованіе этихъ вліяній можетъ, по словамъ Дарвина, привести насъ къ уясненію настоящаго состоянія солнечной системы.

Дѣйствіе приливовъ въ эпоху жидкообразнаго состоянія матеріи могло даже породить новыя тѣла, равно какъ и препятствовать ихъ возникновенію; все зависѣло только отъ величины, взаимнаго разстоянія и движенія формировавшихся тѣлъ. Здѣсь Дарвинъ, между прочимъ, отвѣчаетъ на весьма интересный вопросъ: почему Меркурій и Венера не имѣютъ спутниковъ. Дѣйствіе приливовъ, производимыхъ солнцемъ на этихъ ближайшихъ планетахъ, должно было быть насколько значительнымъ, что быстрое замедленіе вращенія ихъ на оси не благопріятствовало образованію спутниковъ.

Такъ какъ тѣла нашей солнечной системы все же не абсолютно тверды, то дѣйствіе приливовъ можетъ и теперь еще медленно обнаруживаться какъ въ деформаціи самихъ тѣлъ, такъ и въ измѣненіи ихъ вращательныхъ и обращательныхъ движеній.

Происхожденіе кометъ по Фаю.

Изслѣдованія Дж. Дарвина, проливъ новый свѣтъ на движенія планетъ, мало коснулись движенія и развитія кометъ.

Что касается этихъ „косматыхъ тѣлъ", то Фэй и ихъ образованіе относитъ опять-таки на счетъ того хаотическаго клуба ма-

---

[38]) По вычисленію Дарвина, нужно минимумъ 54 милліона лѣтъ, чтобы луна изъ первоначальнаго своего положенія, когда она отдѣлилась отъ земли, могла достичь предѣловъ настоящей своей орбиты.

теріи, изъ котораго возникло солнце съ планетами и спутниками. Кометы, по Фэю, представляютъ собою клочья того матеріала, который былъ пограничною частью примитивнаго хаоса. Эти клочья, очевидно, не были сначала увлечены въ первичный вихрь и избѣжали центральнаго сгущенія; орбиты ихъ изъ удлиненныхъ кривыхъ, только послѣ образованія сгущенія въ центрѣ хаотическаго клуба, сдѣлались почти параболическими эллипсами, имѣющими фокусъ тамъ, гдѣ первыя кривыя имѣли центръ.

Такъ какъ матеріалы, давшіе начало кометамъ, не участвовали въ общемъ вихревомъ круговращеніи справо налѣво, то поэтому кометы и движутся вокругъ солнца въ различныхъ направленіяхъ и съ различными скоростями.

„Если моя теорія, — говоритъ Фэй относительно образованія кометъ, — справедлива, то кометы, орбиты которыхъ подъ большимъ угломъ наклонены къ эклиптикѣ, должны быть движущимися въ равныхъ количествахъ безразлично—какъ въ прямомъ, такъ и въ обратномъ направленіяхъ. Справьтесь съ каталогомъ кометъ и вы увидите, что изъ 115 свѣтилъ этого рода, наклоненныхъ къ эклиптикѣ, подъ угломъ отъ 60° до 90°, 55 движутся прямо и 60 возвратно. Точно также близъ эклиптики должно оказаться кометъ, движущихся прямо, гораздо больше, чѣмъ возвратно. И дѣйствительно, изъ числа кометъ, орбиты которыхъ наклонены къ эклиптикѣ отъ 0° до 20°,36 движутся въ прямомъ и только 14 въ обратномъ направленіи".

Возникновеніе и развитіе солнечной системы по Фэю.

Такъ представляетъ современная космогоническая гипотеза Фэя возникновеніе и развитіе солнечной системы.

Хотя гипотеза эта сложнѣе предшествующихъ космогоническихъ гипотезъ и въ этомъ отношеніи значительно уступаетъ стройной и удивительно простой космогоніи Лапласа, но такъ какъ она болѣе соотвѣтствуетъ фактамъ, добытымъ наукою настоящаго времени, и обнимаетъ собою возникновеніе и развитіе всѣхъ міровъ вселенной, то и принята большинствомъ современныхъ ученыхъ. Справедливость, однако, требуетъ сказать, что нѣкоторыя стороны гипотезы Фэя вызывали не разъ возраженія со стороны общепризнаныхъ авторитетовъ науки. Къ числу противниковъ новѣйшей гипотезы принадлежитъ, между прочимъ, и извѣстный астрономъ Вольфъ, авторъ сочиненія „Les hypotèses cosmogoniques".

Для большой наглядности прилагаемъ здѣсь схему возникновенія, по Фэю, солнечной системы.

Начальныя условія: Хаотическое, однородное (гомогенное) ско-

пленіе, приблизительно сферическое, съ медленными вихревыми движеніями, увлекающими часть массы.

I эпоха: Центральная внутренняя сила, дѣйствующая по формулѣ Ar.

Вихревое движеніе вещества мало-по-малу регулируется, зарождаются туманныя кольца, вращающіяся въ одной плоскости и въ томъ же прямомъ направленіи около центра тяжести клуба.

Части хаотическаго скопленія, не вошедшія въ составъ колецъ, падаютъ къ центру, описывая во всѣхъ направленіяхъ удлиненные эллипсы, концентрическіе съ клубомъ.

II эпоха: Центральная сила дѣйствуетъ почти по тому же закону.

Кольца, болѣе близкія къ центру скопленія, даютъ начало планетамъ; затѣмъ образуются спутники этихъ планетъ. Матерія клуба начинаетъ группироваться въ его центрѣ; формируется центральное тѣло системы.

III эпоха: Центральная сила дѣйствуетъ по закону $ar + \frac{}{r^2}$.

Формировка центральнаго тѣла системы (солнца) продолжается. Планеты приближаются къ солнцу. Образуется система Урана съ обратными спутниками. Дальнѣйшее развитіе завершается образованіемъ системы Нептуна съ совершенно обратнымъ движеніемъ.

IV эпоха: Центральная сила дѣйствуетъ по закону $\frac{B}{r^2}$.

Солнце окончательно сформировалось, покрылось постоянною фотосферой и уже не получаетъ болѣе притоковъ матеріи извнѣ.

Движеніе системы устанавливается, и наступаетъ ея равновѣсіе.

Заключеніе.

Будущая космогоническая гипотеза развитія вселенной и въ частности солнечной системы, захвативъ въ себя всѣ факты и теоріи, какіе могутъ быть добыты и созданы наукой, можетъ стать универсально всеобъемлющей; но для примѣнимости къ ней механическихъ принциповъ міровая система не должна быть мыслима безконечною. „Механическій космосъ, — говоритъ Дюрингъ, — можетъ простираться настолько, насколько матерія и движеніе могутъ быть ощущаемы или должны быть предполагаемы, но не можетъ простираться на безконечность, гдѣ теряютъ свой смыслъ всякіе законы, даже самые достовѣрные для человѣческаго ума“.

Не въ этой ли погонѣ за объясненіемъ изначала существующихъ движеній въ безконечномъ міровомъ пространствѣ и кроются непреодолимыя трудности космогоническихъ гипотезъ?

Побѣдить эти трудности—значило бы возвести гипотезу на степень теоріи, что Фэй и попытался сдѣлать, основывая свою космогонію, на достовѣрности научныхъ законовъ.

Впрочемъ, Ньюкомбъ въ своей астрономіи замѣтилъ, что, если бы кто-либо усомнился въ достовѣрности законовъ для объясненія состоянія вещей, то наука не можетъ дать такого нагляднаго доказательства, которое могло бы устранить всякія сомнѣнія въ вопросѣ о возникновеніи міровъ, пока въ дѣйствительности не будетъ замѣчено, что солнце становится меньше, а туманныя пятна сгущаются въ звѣзды и звѣздныя системы.

Соглашаясь съ этой мыслью, нельзя, однако, допустить, чтобы вообще къ научной теоріи могли быть предъявляемы требованія наглядности, ибо наука тогда должна была бы отказаться отъ попытокъ разрѣшенія всѣхъ тѣхъ возвышенныхъ вопросовъ, которые выходятъ за предѣлы непосредственнаго опыта и наблюденія.

Если наука не вездѣ еще можетъ разрѣшить вопросы въ положительномъ смыслѣ, то это не значитъ, что она и не имѣетъ права строить гипотезъ. Научная гипотеза есть вѣроятное или приблизительное знаніе; и человѣческій умъ довольствуется имъ во всѣхъ тѣхъ областяхъ, гдѣ за недостаткомъ данныхъ представляется затруднительнымъ произнести окончательное сужденіе.

В. Чернасъ.

Библіографія.

Ш. Ришаръ. Начало и конецъ міра (перев. съ франц.). Спб. 1894 годъ (наиболѣе популярная книжка).

Путята. Кантовскія и антикантовскія идеи о звѣздныхъ системахъ (публичныя лекц.). Спб., 1881 г. (Космогонія Лапласа въ 1-й лекціи).

Бобынинъ. Новая теорія происхожденія міра. Москва 1885 г. (брошюра).

Костырко-Стоцкій. Образованіе вселенной вообще и солнечной системы въ частности по Лапласу и Фэю. Нижн.-Новг., 1893 г. (брошюра).

Донскихъ. Система міра. Томскъ, 1889 г. (Эта брошюра представляетъ попытку объясненія развитія міра дѣйствіями электрическихъ и магнитныхъ силъ въ газообразной средѣ).

Джемсъ Кролль. Развитіе звѣздъ. Спб. 1889 г.

Станиславъ Менье. Сравнительная геологія. Спб. 1896 г., ч. III-я. Эволюція свѣтилъ.

Спенсеръ. „Гипотеза туманныхъ массъ"—статья въ III томѣ русск. перев. сочиненій „Научные, философскіе и политическіе опыты". Спб. 1867 г.

Ньюкомбъ и Энгельманъ. Астрономія въ общепонятномъ изложеніи. Спб., 1896 г., ч. IV, гл. 3. „Космогонія".

Лапласъ. Изложеніе системы міра, т. II (рус. пер. Хотинскаго), 7-е и последнее примѣч. Спб., 1861 г.

Г. Фэй. Происхожденіе міра. Спб. 1893 г. Тамъ же критика гипотезы Фэя изъ соч. Вольфа—„Космогоническія гипотезы".

М. Хандриковъ. Описательная астрономія. 2-е изданіе 1896 г. §§ 63—67. Изложеніе и критика космогоній Канта, Лапласа и Фэя.

С. Глазенапъ. Возраженіе противъ гипотезы Лапласа. Журналъ „Мысль" 1881 г., № 2.

Г. Клейберъ. О химическомъ составѣ небесныхъ тѣлъ. Спб., 1885 г. (брошюра).

Ф. Шведовъ. Космогонія конца XIX вѣка. „Физикоматетическій Ежегодникъ" № 1, 1901 г.

Wolf. *C*. Les hypothèses cosmogoniques. Paris., 1886.

Ginzel, *F*. Die Entstehung der Welt nach den Ansichten von Kant bis auf die Gegenwart. Berlin, 1893. 78 стр. (представляетъ самое полное и современное изложеніе).

Braun, *K*. Kosmogonie von Standpunkte christlicher Wissenschaft. Münster, 1889.

Lockyer, *I*. *N*. The meteoritic Hypothesis, a statement of the results of spectroscopic inquiry into the origin of cosmical systems. London., 1890.

Ch. *V*. *Zenger*. Le Système du Monde électro-dinamique. Paris, 1893.

СОДЕРЖАНІЕ ЧЕТВЕРТАГО ВЫПУСКА.

Стр.

34. Начало астрономіи и древнѣйшее состояніе астрономическихъ знаній. *В. Черкасъ* 313

Древность астрономіи. 313. Предметъ современной науки. 313. Родъ климатическихъ условій въ первыхъ наблюденіяхъ. 314. Возникновеніе сабеизма. 314. Миѳологическое представленіе неба. 315. Арійцы и др. 315. Греки. 316. Роль жрецовъ. 317. Происхожденіе астрологіи. 317. Древняя обсерваторія астрологовъ. 318. Сила астрологическихъ предразсудковъ. 319. Роль мореплаванія въ развитіи древней астрономіи. 319. Успѣхи мореплаванія. 320. Плаваніе въ открытомъ морѣ и усовершенствованіе астрономическихъ наблюденій. 321. Характеристика древняго кормчаго, какъ астронома. 322. Значеніе финикіянъ. 322. Астрономическія свѣдѣнія древнѣйшихъ народовъ. 323. Движеніе луны. 323. Счетъ времени по обращеніямъ луны. 324. Наблюденія надъ движеніями планетъ. 324. Вычисленіе и предсказаніе затменій. 324. Ѳалесово затменіе. 325. Значеніе для астрономіи древнихъ затменій. 326. Измѣреніе времени. 326. Лунный годъ. 327. Опредѣленія временъ года. 327. Солнечный годъ. 327. Астрологическій характеръ египет. наблюденій. 328. Древность обозначенія звѣздъ и созвѣздій. 329. Мнѣнія о зодіакѣ. 329. Попытки согласованія луннаго и солнечнаго года. 330. Происхожденіе недѣли. 330. Заключеніе. 331.

35. Греческая астрономія. *С. Щербаковъ.* 334

Системы міра. 334. Видимыя движенія свѣтилъ. 334. Гиппархъ. 337. Основныя начала древней системы міра. Эксцентрическая орбита и эпициклъ для объясненія лунныхъ неравенствъ. 338. Объясненіе планетныхъ движеній. 339.

Стр.

36. Система Коперника. *С. Щербаковъ* 343

Геліоцентрическая система. 343. Колебательныя движенія планетъ, какъ слѣдствія движенія самого наблюдателя. 345. Распространеніе идей Коперника. 347. Первый законъ Кеплера. 349. Второй законъ. 351. Третій законъ. 352. Распространеніе законовъ Кеплера на другія тѣла солнечной системы. 353. Преемственная связь между научными теоріями. 354.

37. Всемірное тяготѣніе. *С. Щербаковъ* 356

Вопросъ о причинѣ планетныхъ движеній. Гипотезы Кеплера и Декарта. 356. Изслѣдованія Галилея о движеніи тяжелыхъ тѣлъ. 1-й и 2-й законы движенія. 359. Зависимость кривизны пути отъ начальной скорости и дѣйствующей силы. Движеніе тяжелаго тѣла, брошеннаго наклонно къ горизонту. 361. Тяжесть и инерція, какъ силы, производящія вѣчное движеніе луны. 363. Кеплеровы законы, какъ слѣдствія центральной силы, измѣняющейся съ разстояніемъ. Тяжесть — причина эллиптическаго движенія луны. 365. Распространеніе начала Ньютона на прочія тѣла солнечной системы. Тяготѣніе. 370. Пропорціональность силы тяготѣнія массамъ. Способъ опредѣленія массъ небесныхъ тѣлъ. 372. Взаимность тяготѣнія земли и луны. Приливы. 375. Алгебраическое выраженіе закона тяготѣнія. 376.

38. Развитіе Ньютоновой теоріи. *С. Щербаковъ*. 378

Слѣдствія взаимности и всеобщности тяготѣнія. Возмущенія. 378. Задача о трехъ тѣлахъ. 379. Возможность приближеннаго рѣшенія задачи. 379. Возмущенія въ движеніи земли, производимыя Юпитеромъ и Венерой. 380. Способъ приближеннаго рѣшенія задачи. 381. Неравенства вѣковыя и періодическія. 382. Прочность солнечной системы. 382. Вычисленіе массъ изъ величины возмущеній. Открытіе Нептуна. 383. Всемірность тяготѣнія. 384. Что такое тяготѣніе? 386. Заключеніе. 388.

39. Скорость свѣта и аберрація. Прецессія и нутація. *А. Рыдзевскій* 390

Скорость свѣта. 390. Первое опредѣленіе скорости свѣта Галилеемъ. 390. Скорость свѣта по затменіямъ спутниковъ Юпитера. 390. Уравненіе свѣта. 391. Примѣръ вычисленія уравненія свѣта. 391. Вліяніе уравненія свѣта на времена наблюденій кометъ и планетъ. Планетная аберрація. 392. Годовая аберрація неподвижныхъ звѣздъ. 393. Наблюденія Гука. 393. Наблюденія Молине и Брадлея. 394. Открытіе аберраціи Брадлеемъ. 395. Объясненіе аберраціи. 395. Постоянная аберрація. 396. Суточная аберрація. 397. Открытіе прецессіи Гиппархомъ. 398. Объясненіе прецессіи по Копернику. 399. Открытіе Брадлеемъ нутаціи. 399.

Стр.

Механическое объясненіе прецессіи по Ньютону. 399. Объясненіе прецессіи по Даламберу. 400. Солнечная прецессія. 402. Лунная прецессія. 402. Нутація. 403. Планетная прецессія. 403. Вліяніе прецессіи на координаты. 404. Подтвержденіе ученій Коперника и Ньютона. 405.

40. Астрономическіе инструменты. *Л. Серебряковъ* 407

Два рода астрономическихъ инструментовъ. 407. О координатахъ вообще. 407. Система горизонта. 408. Экваторіальныя координаты. 412. Звѣздное время. 414. Среднее время. Эклиптическія координаты. 416. Преобразованіе координатъ. Понятіе о параллаксѣ. 421. Географическія координаты. 424. Инструменты древнихъ. 426. Инструменты съ зрительными трубами. 429. Меридіанный кругъ. 431. Нитяный микрометръ. 436. Ошибка эксцентрицитета. 438. Опредѣленіе склоненій меридіаннымъ кругомъ. 439. Пассажные инструменты. 442. Вертикальные круги. 443. Погрѣшности наблюденій. 447. Ошибка коллимаціи. Перекладываніе инструментовъ. 449. Наклоненіе оси. Уровень. 452. Гнутіе трубъ. 454. Изслѣдованіе инструментовъ. 454. Личное уравненіе. Хронографы. 456. Важность опредѣленія координатъ. 459. Часы съ маятникомъ. 469. Хронометры. 464. Экваторіалъ. 468. Параллактическая установка. Часовой ходъ. 470. Позиціонный микрометръ. 473. Историческія замѣчанія о зрительныхъ трубахъ. 474. Пулковскій 30-дюймовый рефракторъ. 477. Пулковская обсерваторія. 486. Заключеніе. 492.

41. Успѣхи наблюдательной астрономіи. *Л. Малисъ*. 493

Средства изслѣдованія. 493. Точность наблюденій. 493. Тихо Браге. 494. Рефракція. 495. Изобрѣтеніе зрительной трубы. 496. О. Рёмеръ. 497. Джемсъ Брадлей. 498. Открытія У. Гершеля. 498. Астрономическія эфемериды. 499. Звѣздные каталоги. 499. Открытіе малыхъ планетъ. 500. Двойныя звѣзды. 501. Пятый спутникъ Юпитера. 502.

42. Современное состояніе астрономіи. *Л. Малисъ*. . . . 504

Возникновеніе астрофизики. 504. Равномѣрность вращенія земли. 506. Вѣковое ускореніе луны. 506. Измѣненіе положенія земной оси по отношенію къ фигурѣ земли. 508. Можетъ ли законъ Ньютона объяснить всѣ астрономическія явленія? 510. Таблицы движеній луны и планетъ. 510. Правильность формулы Ньютона. 511. Прочность солнечной системы. 513.

43. Астрофотометрія. *Э. Линдеманъ* 515

Прошлое астрофотометріи. 515. Фотометрическія изслѣдованія простымъ глазомъ. 515. Фотометръ Штейнгеля. 516. Фотометръ Цёлльвера. 516. Фотометръ Пиккеринга. 517. Фотометръ Прит-

Стр.

чарда. 518. Другіе способы изслѣдованія. 519. Вліяніе атмосферы. 519. Относительная яркость звѣздъ различныхъ величинъ. 521. Яркость звѣздъ перваго класса. 522. Современныя работы по астрофотометріи. 522. Яркость солнца. 523. Яркость луны. 524. Яркость планетъ. 524. Яркость спутниковъ. 525.

44. Форма и размѣры земли. *Л. Серебряковъ* 527

Мнѣнія древнихъ о формѣ земли. Открытіе шарообразности земли. 527. Доказательства шарообразности земли. 531. Величина земного шара. Древнѣйшія измѣренія. 536. Изобрѣтеніе тріангуляціи. 537. Измѣреніе Норвуда. 538. Тріангуляція Пикара. 539. Открытіе сплюснутости земного шара. Теоретическія доказательства ея существованія. 539. Подтвержденіе существованія сжатія земли наблюденіями съ маятникомъ. 540. Форма вращающейся жидкости, частицы которой обладаютъ ньютоніанскимъ притяженіемъ. 541. Опредѣленіе сжатія земли изъ градусныхъ измѣреній. 542. Французское градусное измѣреніе. 543. Русско-скандинавская тріангуляція. 543. Базисный аппаратъ. 545. Измѣреніе базиса. 547. Измѣреніе угловъ тріангуляціонной сѣти. 548. Вычисленіе тріангуляціи. 548. Элементы земного сфероида по Бесселю и Кларку. 549. Тріангуляціи по параллелямъ. 550. Опредѣленіе географическихъ долготъ. 551. Пертурбаціи въ качаніяхъ маятника. 551. Повышенія и пониженія уровня океановъ. 553. Уклоненія отвѣса. 554. Возмущенія отвѣсной линіи внутри материковыхъ пространствъ. 555. Типическій сфероидъ Листинга. 556. Европейское градусное измѣреніе. 557. Относительные размѣры неправильностей фигуры земли. 557.

45. Строеніе звѣзднаго міра. *И. Абельманъ* 559

Годичный параллаксъ; первыя попытки его опредѣленія. 559. Опредѣленіе параллакса звѣзды 61 Лебедя Бесселемъ. 560. Дальнѣйшія работы по опредѣленію годичнаго параллакса звѣздъ. 560. Густота распредѣленія звѣздъ. 561. Древнѣйшія объясненія и наблюденія млечнаго пути. 561. Новѣйшія изслѣдованія. 562. Предѣлъ видимости звѣздъ. 563. Изученіе млечнаго пути при помощи телескопа. 565. Примѣненіе фотографіи. 565. Спектроскопированіе млечнаго пути. 566. Млечный путь въ оптическомъ отношеніи. 566. Космическая сущность млечнаго пути. 567. Кратныя звѣзды. 570.

46. Солнечная система въ міровомъ пространствѣ. *И. Абельманъ*. 572

Собственное движеніе звѣздъ. 572. Движеніе солнца на пространствѣ. 572. Орбита движенія солнечной системы. 573.

47. Происхожденіе міра. *В. Черкасъ* 575

Общій характеръ древнихъ космогоній. 575. Атомисты. 576. Демокритъ и Аристотель. 577. Лукрецій. 579. Ньютонъ. 579.

Механическія воззрѣнія Декарта. 581. Тяготѣніе. 582. Космогонія Канта. 583. Погрѣшности противъ механики въ гипотезѣ Канта. 586. Космогонія Лапласа. 588. Основы для гипотезы. 589. Опытъ Плато. 591. Трудности и противорѣчія въ космогоніи Лапласа. 593. Выводы изъ космогоніи Лапласа. 595. Открытія, несогласныя съ взглядами Лапласа. 595. Космогонія Фая. 597. Раскаленность звѣздъ. 599. Вихревыя движенія и ихъ аналогія. 600. Стадіи развитія хаоса. 602. Механическіе принципы гипотезы Фая. 603. Приложеніе механическихъ принциповъ къ гипотезѣ. 604. Порядокъ возникновенія планетъ. 606. Современное состояніе солнечной системы. 609. Приливы по теоріи Дж. Дарвина. 609. Происхожденіе кометъ по Фаю. 611. Возникновеніе и развитіе солнечной системы по Фаю. 612. Заключеніе. 613.

Указатель именъ.

Аббе (Abbe), I, 402.
Абуль-Вефа, II, 341.
Авогадро. II, 61.
Адамсъ (Adams), II, 384.
Альбатенгій, II, 341.
Альбертъ Великій (XIII в.), II, 29.
Альфонсъ V Кастильскій, II, 342.
Амага, I, 100.
Амперъ, I, 489, 490, II, 61.
Анаксименъ, II, 23.
Анри (Henry), II, 477.
Араго (Arago), II, 68, 543, 596.
Аргеландеръ (Argelander), II, 458, 500, 515, 521.
Аристотель, I, 6, 14, 68, II, 24, 338, 354, 357, 359, 529, 562, 577, 578.
Архимедъ, II, 463.
Арчеръ (Archer), I, 327.
Ауверсъ, II, 502, 560.
Ауэръ, II, 190.

Байли (Bailly), II, 373.
Байеръ (Bäyer), II, 557.
Баклундъ, II, 490.
Бамбергъ (Bamcerg), II, 445, 446.
Барнардъ (Barnard), II, 502, 566.
Беккерель (Becquerel), I, 469.
Беккеръ (Becker), I, 433.
Белль, I, 262.
Бенардосъ, I, 476.
Бергманъ (Bergmann), II, 34, 282, 284, 287, 297, 306.
Бернулли Иванъ, II, 357.
Бертело (Berthelot), II, 125, 289, 294, 298, 297.
Бертолле (Bertollet), II, 283, 285, 287, 288, 289, 306, 307.
Берцеліусъ (Berzelius), II, 225.
Бессель (Bessel), II, 373, 457, 458, 496, 498, 549, 551, 560.
Бехеръ (Becher), II, 33, 34.
Біо (Biot), II, 543.
Блэкъ (Black), I, 185, 463. II, 34.
Боде, II. 500.
Бойль (R. Boyle), I, 186, II, 31, 60, 224.
Бойсъ (Boys), II, 430.
Бондъ (W. C. Bond), II, 457.
Борда, I, 260.
Борхерсъ (Borchers), I, 473, 483.
Брадлей (Bradley), II, 393, 394, 395, 399, 428, 494, 498, 560.
Брауеръ (Brauer), II, 454.
Бредихинъ, Ф. А. II, 386, 490.
Брюстеръ (Brewster), I, 296, 309.
Бугеръ (Bougner), II, 518, 543.
Бунзенъ, I, 311, 316, II, 189, 505.
Буссенго (Boussaingault), II, 110, 125.
Бутлеровъ, II, 151—152, 276.
Бэддикеръ (Böddicker), II, 562.
Бэконъ Рожеръ, II, 29.
Бэконъ Франсисъ, II, 347.

Вааге (Waage), II, 287.
Вантъ-Гоффъ (Vant-Hoff), II, 306.
Ванъ-Гельмонтъ, II, 30.
Василій Валентинъ, II, 29.
Варлей, I, 461.
Веберъ (Weber), I. 265. 452. II, 513.
Велеръ (Wöhler), II, 131.
Вертгеймъ, I, 461.
Винклеръ (Winkler), II, 249.
Виноградскій, II, 125, 125.
Виргилій, II, 322.
Волластонъ (Wollaston), I, 308, 309, II, 505.

Вольта (Volta), I, 414, 418.
Вольфъ Рудольфъ (R. Wolf), II, 458, 566.
Врублевскій, II, 119.
Вюрцъ, II, 63.

Гайндъ (Hind), II, 325.
Галилей, I, 67, 68, 77, II, 347, 358, 359, 390, 474, 496, 497, 567.
Галле (Gallee), II, 324, 595.
Галлей (Galley), II, 506, 572.
Галль (Asaph Hall), II, 478, 512, 560, 596.
Гальвани (Galvani), I, 414.
Гамбей, II, 469.
Ганстенъ (Hansteen), II, 544.
Гардингъ (Harding), II, 501, 588.
Гаррисонъ (John Harrison), II, 468.
Гаскоинъ (Gascoigne), II, 430, 497.
Гауссъ (Gauss), I, 51, 265, 452, II, 466, 501, 513.
Геберъ, II, 27.
Геггинсъ (Huggins), II, 502, 505.
Гезіодъ, II, 327, 328, 329.
Гейсъ (Heis), II, 562.
Гельмгольцъ (Helmholtz), I, 50, 358, 359, 365, 368, 373, 380, 491, 499, II, 289, 456, 599.
Гельригель (Hellriegel), II, 124.
Гендерсонъ (Henderson), II, 560.
Гераклитъ, II, 23.
Гергардъ, см. Жераръ.
Геродотъ, II, 320
Герцъ (Heinrich Hertz), I, 488, 489, 502, 504, 508.
Гершель Джонъ (John Herschel), II, 515, 568, 571.
Гершель Уильямъ или Вильямъ (William Herschel), II, 383, 482, 483, 499, 545, 552, 569, 573.
Гинтль, I, 453.
Гиппархъ, II, 323, 337—347, 398, 408, 493, 500, 515.
Гиппъ (Hipp), II, 457, 471.
Гирнъ, I, 193.
Глазенапъ, II, 391, 516.
Глауберъ, II, 30.
Гоббсъ, I, 8.
Голь (Maxwell Hall), II, 574.
Гомеръ, II, 316, 321, 329, 528.
Грандъ-Эри (Grand-Eury), II, 139, 140.
Грове (Grove), II, 297.
Грэмъ или Греэмъ (Graham), II, 394, 395, 428, 490.
Гузо (Houzeau), II, 562.
Гукъ (Hooke), II, 393, 394, 560.
Гульдбергъ (Guldberg), II, 287.
Гумбольдтъ, II, 68.
Гэй-Люссакъ (Gay-Lussac), II, 60—67, 68.
Гюйгенсъ (Huygens), I, 273, II, 358, 461, 474, 457, 539, 563.
Гюльденъ (Gyldén), II, 496, 513.

Дагерръ (Daguerre), I, 325.
Д'Аламберъ (D'Alambert), II, 379, 400, 541.
Дальтонъ (Dalton), I, 374, II, 53, 54, 69, 276.
Даніэль (Daniel), I, 258—269.
Дарвинъ Дж., II, 609—611.
Даусонъ (Dowson), II, 186.
Дёберейнеръ (Döbereiner), II, 229.
Дебре, II, 297.
Девилль (H. Sainte Claire Deville), II, 297, 298, 299, 301, 302, 304.
Дейхмюллеръ (Deichmüller), II, 508.
Декартъ (René Descartes), II, 357, 408, 580—582.
Де-Лаиръ (De-la-Hire), II, 542.
Деламбръ (Delambre), I, 260, II, 391, 543.
Делиль (Delisle или Del'Isle), II, 486, 543.
Делоне (Delaunay), II, 508.
Дембовскій, II, 571.
Демокритъ, II, 24, 56, 577.
Депре, II, 136.
Джевонсъ, I, 9.
Джоуль, I, 191, II, 289.
Діодоръ Сицилійскій, II, 324.
Доллондъ (Dollond), II, 474.
Деви (Davy), I, 186, 187, 414, 431, II, 172, 173.
Дюлонгъ (Dulong), II, 74.
Дюма (Dumas), II, 61, 110, 229.

Жераръ или Гергардъ (Gerhardt), II, 61, 62, 63.

Зейдель (Seidel), II, 516, 517.
Зеландеръ (Selander), II, 544.
Зелигеръ (Seeliger), II, 513, 524.
Земмерингъ, I, 451.
Зильберманъ (Silbermann), II, 280.

Истонъ (Easton), II, 562, 566.

Іерксъ (Yerkes), II, 477.

Кавендишъ или Кэвендишъ (Cavendisch), II, 34, 40, 126, 373.
Кайзеръ, II, 458.
Кальете (Cailletet), II, 112, 119.
Кампани, I, 395.
Кантъ (Kant), I, 7, II, 567, 569, 583, 587.
Каньяръ-Латуръ, II, 140.
Каптейнъ (Kaptein), II, 566.
Карнелли (Carnelley), II, 243.

Кассини Д. (Domenique Cassini), I, 395, II, 542.
Кассини Ж. (Jacques Cassini), II, 542.
Кастнеръ (Castner), I, 478, 480.
Кекуле, II, 276.
Кеплеръ, I, 68, II, 319, 347 — 354, 474, 490, 494.
Кессель, (Kessel), II, 463.
Килiани (Kiliani), 473.
Кирговъ (Kirchoff), I, 251, 311—316, 318, 319, II, 461, 504, 505.
Кларкъ (Alexander Ros Clarke), II, 549, 550.
Кларкъ (Alvan Clark), II, 478, 479, 4?6, 502.
Кларкъ (Ler Clark), I, 269.
Клаузiусъ (Clausius), II, 513.
Клеанөъ Аөосскiй, II, 343.
Клейберъ, II, 601.
Клейнъ (Klein), II, 566.
Клеро (Clairaut), II, 379, 542.
Кондильякъ, I, 47.
Кондорсе, I, 260.
Контъ (Auguste Coute), I, 4, 5, 7, II, 505.
Коперникъ (Nicolans Copernicus), II, 319, 334, 342, 343, 355.
Коульсъ (Cowles), I, 472.
Кристоөль (Chistofle), I, 486.
Крюгеръ (Krüger), II, 521.
Кукъ, I, 452.
Кулонъ (Coulomb), I, 267.
Кейли (Cayley), II, 508.

Лавуазье (Lavoisier), I, 260, II, 32, 34—44, 108, 161, 224, 276.
Лагранжъ (Lagrange), I, 260, II, 43, 379, 382, 313, 573.
Лакондаминъ (La Condamine), II, 545.
Ламбертъ (Lambert), II, 515, 570, 572.
Лапласъ (Laplace), I, 12, 260, II, 41, 289, 313, 331, 371, 379, 508, 513, 541, 579, 580, 584, 588, 597, 608.
Лассель (Lassel), II, 478, 478, 595.
Лебедевъ, I, 505.
Леверрье, (Leverrier), II, 384, 504, 511, 595.
Левкиппъ, II, 577.
Лейбницъ (Leibnitz), I, 9, 43, 79, II, 579.
Лековъ де-Буабодранъ (Lecoq de-Boiscandrao), II, 249.
Лемонье (Le Monnier), II, 542.
Ленцъ, I, 430.
Леруа, II, 465.
Лесажъ, I, 451.
Либанiусъ, II, 30.
Либихъ, II, 61.
Ликъ (Lick), II, 477.
Линдеманъ Э., II, 521.
Линденау (Lindenau), II, 544.
Липпергеймъ (Hans Lipperchein или Jan Lapprey), II, 474.
Липпманъ (Lippmann), I, 338, 340.
Листингъ (Listing), II, 555, 557.
Ллойдъ, I, 281.
Локайеръ или Локiеръ (Lockyer), II, 585.
Локкъ, I, 50.
Лоранъ, II, 63.
Лукрецiй, II, 578, 580.
Любимовъ, I, 402.
Люпке, I, 483.

Магелланъ, II, 531.
Маддоксъ (Maddox), I, 329.
Майеръ Робертъ, I, 188, II, 289.
Майеръ Тобiасъ (Tobias Mayer), II, 572.
Майеръ Христiанъ (Chr. Mayer), II, 570.
Майо (Maillot), II, 37.
Маклоренъ (Maclaurin), II, 511.
Максвелль (Maxwell), I, 171, 265, 374, 488, 491, 494, 496, 497, 502, 503, 508.
Марiоттъ (Mariott), I, 364, II, 60.
Маркони, I, 458—460.
Маскелейнъ (Maskelyne), II, 457.
Медлеръ (Mädler), II, 574.
Мейеръ (Lotar Meyer), II, 232, 243, 244.
Менделѣевъ, II, 178, 180, 230, 232, 235, 237, 248, 249, 250, 251.
Мерцъ (Merz), II, 476, 478, 483, 484.
Мессье (Messier), II, 596.
Местлинъ, II, 349.
Метонъ, II, 330.
Мецiусъ Яковъ (Metius), II, 474.
Мешенъ (Méchain), II, 543.
Милль, I, 50.
Митчель (Mitchel), II, 57.
Митчерлихъ (Mitscherlich), II, 228.
Мове, II, 596.
Молине (Molyneux), II, 394.
Мопертюи (Maupertüis), II, 286, 542.
Морве, I, 452, II, 457.
Муассанъ или Моассанъ (Moissan) I, 48, II, 137, 136, 190.
Мюллеръ (Müller), II, 524, 525.
Мюллеръ Iоганнъ (J. Müller), I, 363.
Мюнцъ II, 125.

Нильсонъ (Nilson), II, 249.
Норвудъ (Norvood), II, 538, 539.
Ньепсъ (Niépse), I, 325.
Ньюкомбъ (Simon Newcomb), II, 470, 508, 511, 512, 614.
Ньютонъ (Isaak Newton), I, 43, 46, 50, 66, 70, 71, 77, II, 334, 358, 375, 386, 388, 399, 400, 505, 508, 538, 539, 542, 578, 579, 582, 583.
Нюренъ (Nurén), II, 397, 509.

Озу (Auzout), II, 430.
Ольберсъ (Olbers), II, 501, 588.
Омъ (Ohm), I, 477.
Оо (Hoho), I, 514.

Парацельсъ, II, 30.
Паркгурстъ (Parkhurst), II, 525.
Паскаль II, 21, 22.
Пассеманъ, II, 468.
Пастеръ (Pasteur), II, 124.
Паукеръ, II, 485.
Петерсъ (Peters), II, 404, 560, 561.
Пикаръ (Picard), II, 430, 497, 539.
Пиккерингъ, (Pickering), II, 480, 517, 522, 525, 571.
Пикте (Raoult Pictet), II, 112, 301.
Пиѳагоръ, II, 528.
Піацци (Piazzi), II, 501, 588.
Плато (Plateau), II, 591.
Платонъ, I, 40, II, 528.
Погсонъ (Pogson), II, 522.
Порта (Porta), I, 325.
Посидоній, II, 537.
Пристлей (Pristley), II, 34, 39, 108.
Притчардъ (Pritchard), II, 518, 523, 560.
Прокторъ (Proctor), II, 532, 565, 570.
Пти (Petit), II, 74.
Птоломей, II, 323, 334, 337—341, 347, 399, 408, 428, 493, 562.
Пуанкаре (Poincaré), II, 541.
Пуассонъ (Poisson), II, 383.
Пуатвенъ, I, 334.
Пуркинье (Purcinié), I, 363.
Пэджъ, I, 461.

Райтъ (Wright), II, 567—569.
Рамзай (Ramsay), II, 126.
Рамсденъ (Ramsden), 474.
Рауль (Raoult) II, 265.
Регіомонтанъ (Regiomontanus), II, 347, 490.
Рэй (Ray), II, 37.
Рейсъ, I, 461.
Рёмеръ (O. Römer), II, 390, 391, 431, 497, 560.
Рентгенъ (Röntgen), I, 348.
Реньо (Regnault), II, 110.
Репсольдъ (Repsold), II, 431, 436, 440, 442, 455, 480, 484, 488.
Риманнъ (Riemann), II, 513.
Рише (Richer), II, 541.
Робертсъ (Robeberts), II, 569.
Россъ (Ross), II, 477, 478.
Румфордъ, I, 186.
Рутерфордъ (Rutherford), II, 119.
Руэллъ (Rouelle), II, 35.
Рэлей (Rayleigh), II, 126.

Сала II, 30.
Сантберъ II, 359.
Секки (Secchi), II, 568.
Сименсъ (Siemens), I, 263, 463, 483.
Снелліусъ (Snellius), II, 537, 538.
Сталь (Stahl), II, 33.
Стевинъ, I, 77.
Столѣтовъ, I, 359, 489, 508.
Струве Вильгельмъ, или Василій (Wilhelm Struve), II, 404, 478, 486, 490, 544, 545, 550, 560, 568, 570.
Струве Отто (Otto Struve), II, 404, 478, 479, 480, 490, 560, 571.
Стюартъ, I, 317.
Сѣченовъ, II, 42.
Сэбинъ (Sabine), II, 552.
Сэври (Savary), I, 238.

Тальботъ (Talbot), I, 310, 327.
Тенаръ, II, 61.
Теннеръ, II, 544.
Тиде (De-Tidé), II, 463.
Тимохарисъ, II, 398.
Тиндаль (Tindall), I, 67.
Тиссандье (Tissandier), II, 129.
Тиссеранъ (Tisserand), II, 513.
Тихо Браге (Tycho Brahe), II, 313, 349, 428, 429, 494—496.
Томсенъ (Thomsen), II, 284.
Томсонъ Вильямъ (W. Thomson), I, 150, 265, 456, 457, 456, II, 588.
Торричелли (Torricelli), II, 105.
Тосканелли, II, 428.
Троутонъ (Troughton), II, 451.
Тэтъ, I, 67.

Уатсонъ, I, 451.
Уатъ Джемсъ (Watt), I, 239.
Уитстонъ (Wheatstone), I, 251, 310, 452, 455.
Улугъ-Бей, II, 490.
Уокеръ (Walker), II, 457.
Уотерсъ (Woters), II, 459.
Уэвель (Whewell), II, 388, 389.

Фавръ, (Favre), II, 325.
Фалесъ, II, 23, 589.
Фарадей (Faraday), I, 246, 265, 414, 425, 485, 486, 487, 493, 494, 495, 508
Фейль, II, 479, 480.
Фернель (Fernel), II, 537.
Физо (Fizeau), II, 334, 327, 390, 392.
Филиппсъ, II, 465.
Филолай, II, 528.
Фогель, I, 341, II, 571.
Фраунгоферъ (Fraunhofer), I, 308, II, 476, 505.
Френель (Fresnel), I, 282, 294.
Фуко (Foucault), II, 314.
Фурье, I, 43, 51, 321.
Фэй или Фай (Faye), II, 321, 322, 582, 594, 606, 615.

Цахъ (Zach), II, 500.
Цёлльнеръ (Zöllner), II, 512, 516, 518, 523, 524.
Цельсій (Celsius), II, 542.
Церасскій, I, 348, II, 525.
Цеpeнepъ (Zerener), I, 476.
Чендлеръ (Chandler), II, 510.
Шансъ, II, 479.
Шаппъ (Chappe), I, 451.
Шарлье (Charlier), II, 523.
Швейцеръ Schweizer), II, 556.
Шеберле (Schaeberle), II, 502
Шееле (Scheele), II, 34. 37, 39.
Шенбейнъ (Schönbein), II, 116.
Шенфельдъ (Schönfeld), II, 5 1.
Шиллингъ, I, 452.
Шлезингъ, II, 125.
Штейнгейль (Steinheil), I, 452, II, 516,
Эвклидъ, I, 15, 44.
Эдеръ (Eder), I, 331.
Эдиссонъ, I, 462.
Эйлеръ (Euler), I, 1, 8, 302, II, 379, 509.
Эйри (Airy), II, 325.
Эльморъ (Elmore), 468.
Эмпедоклъ, II, 24.
Энгельманъ (Engelmann), II, 525.
Энгетромъ, I, 311.
Энке (Encke), II, 571.
Эратосфенъ, II, 536.
Эртель (Ertel), II, 442, 443, 455.
Эру (Heroult), I, 473.
Юзъ, I, 455, 463.
Юнгъ (Ttomas Joung), I, 273, 373, II, 509.
Якоби, I, 466.
Янсенъ (Jansen), II, 474.

Предметный указатель.

Аберрація свѣта, II, 390, 405, 500.
Абсолютная и относительная влажность, I, 534.
Абсолютная система единицъ, I, 150, 265.
Абсолютная температура, I, 231.
Абсолютное поле оптическихъ инструментовъ, I, 397.
Абсцисса. I, 19.
Азимутъ, II, 394, 410.
Азотная кислота, II, 122.
Азотъ, II, 14, 37, 108, 118, 126.
Аккоммодація, I, 358, 359.
Аккумуляторъ, I, 423, 482, II, 485, 489.
Аксіомы геометріи, I, 50.
Александрійская школа и ал. ученые, II, 25, 427, 536.
Ализаринъ, II, 152.
Алкоголи, II, 149.
Аллотропія, II, 66, 136.
Алмазъ, II, 135, 137, 141.
Алхимическій періодъ химіи, II, 25.
Алхимія, II, 30, 317.
Альмагестъ, II, 337, 338, 342.
Альтернаторъ, I, 427.
Альтазимутъ, II, 43, 444.
Алюминіева бронза, I, 472.
Алюминій, I, 472, II, 212.
Аммiакъ, II, 123.
Аморфныя вещества, II, 261.
Амперъ—единица силы тока, I, 268.
Анализъ, I, 44, 46.
Анализъ безконечно-малыхъ, I, 16, 40.
Анализъ химическій, II, 59, 258.
Аналитическая геометрія, I, 17.
Ангидриды кислотъ, II, 114.
Анодный илъ, I, 470.
Аномальная дисперсія, I, 304.
Антипассаты, I, 341, 548.
Антициклонъ, I, 502—548.
Антрацитъ, II, 172.
Антропологія, I, 5.
Арабы (арабская наука), I, 15, II, 27, 537.
Аргонъ, II, 126.
Ариѳметика, I, 45.
Армиллярная сфера, II, 427.
Ассиметрическій углеродъ, I, 71.
Астероиды см. планеты малыя.
Астрологія и астрологи, II, 317, 318, 319, 323, 325, 328.
Астрономія практическая, II, 426.
Астрономія сферическая, II, 426.
Астрономія теоретическая и математическая, см. небесная механика.
Астрономія у арійцевъ, II, 314, 315.
Астрономія у древнихъ жрецовъ, II, 317.
Астрономія у египтянъ. II, 328.
Астрономія у китайцевъ, II, 325.
Астрономія у финикіянъ, II, 320 - 322.
Астрономія у халдеевъ, II, 318.
Астрофизика, II, 504, 506,
Астрофотометрія, II, 515.
Атомистическая гипотеза, I, 111, 112, II, 54, 56, 577—579.
Атомность, II, 78, 224, 238, 247, 267.
Атомность углерода, II, 144, 145.
Атомный вѣсъ, II, 72, 75, 232, 242.
Атомъ, I, 112, 153, II, 55, 58, 81, 232, 266, 577—579.
Ацетиленъ, I, 481, II, 190.
Аэролиты, II, 202.

Базисный аппаратъ, II, 545—547.
Базисъ, II, 537, 522, 544, 547.
Бакуоль, II, 180.
Балансиръ хронометра, II, 448—451.
Барометрическій градіентъ, I, 541.
Барометрическій максимумъ, I, 540, 549.
Барометрическій минимумъ, I, 540, 549.
Безконечно-малыя величины, I, 16, 27, 32.
Бинокулярное зрѣніе, I, 376.
Биполярный электродъ, I, 470, 479.
Біенія звука, I, 444, 540, 543.
Близорукость, I, 360.
Болотный газъ, II, 145.
Бризы, I, 543.
Броженіе, II, 163, 263.
Броможелатинныя пластинки, I, 329.
Бѣлки, II, 154.

Величина раздѣльная, I, 14.
Величина сплошная, I, 14.
Венера (*планета*), II, 318, 324, 330, 348, 380, 511, 524, 611.
Вентиляція, II, 132.
Вертикалъ первый, II, 410, 442.
Вертикальный кругъ, II, 443—447.
Визиръ, см. діоптръ.
Вирированіе, I, 333.
Вихревыя движенія, I, 491, 492, II, 600.
Вихревыя кольца, I, 491, 492.
Внѣшняя теплопроводность, I, 214.
Вода, II, 49, 64, 73, 76, 83—106.
Водный остатокъ, II, 149.
Водородъ, II, 91, 291.
Воздухъ, II, 49, 107—132.
Возмущенія (астрон.), II, 354, 378.
Волна, I, 275.
Вольтаметръ, II, 91.
Вольтъ — единица электродвижущей силы, I, 268.
Восходящій токъ воздуха, I, 556.
Время звѣздное, II, 414, 415.
Время среднее, II, 416.
Вывѣтриваніе, II, 127.
Высота (астрон.), II, 327, 393, 396.
Высота звука, I, 510.
Высшій предѣлъ размѣровъ частицъ, I, 149—150.
Вѣсъ, I, 75, 107, 108.
Вѣсы (созвѣздіе), II, 329, 330.
Вѣчность энергіи, I, 178.

Газъ водяной, II, 184.
Газъ генераторный, II, 185.
Газъ паровоздушный, II, 186.
Газъ свѣтильный, II, 186.
Газы, I, 82, 87, 102—110, 116, 131, II, 60.
Галактоза, II, 275.
Гальваническій элементъ, I, 420, 482.
Гальванопластика, I, 466.
Гальваностегія, I, 468.
Гамма музыкальная, I, 511.
Гармоническіе тоны, I, 513.
Геліостатъ, II, 488.
Геліоцентрическая система, II, 313.
Геодезія, II, 532.
Геоидъ, II, 555, 556, 557.
Геометрія, I, 6, 45.
Гидраты, II, 225.
Гипербола (кривая), II, 367, 371.
Гиперметропія, I, 360.
Гипотеза Канта-Лапласа, II, 202—204, 583, 597.
Гипотеза Фея космогоническая, II, 597—614.
Гипотеза Юнга Гельмгольца, I, 373, 374.
Гипотезы, I, 59.
Гипсъ, II, 208, 210.
Гіады, II, 316, 327.
Главная физическая обсерваторія, I, 270.
Глазъ, I, 350, 356, II, 564.
Глина, 49, 211.
Глиноземъ, II, 114.
Гнейсы, II, 205.
Гніеніе, II, 163.
Гномонъ, II, 332, 426, 427.
Гнутіе астрономическихъ трубъ, II, 454.
Годъ, II, 327, 330.
Горизонтъ, II, 408, 409, 421, 422.
Горныя породы массивныя, II, 195.
Горныя породы слоистыя, II, 195.
Горѣлка Аувра, II, 190.
Горѣлка Бунзеновская, II, 191.
Горѣлка Фанейельмовская, II, 189.
Горѣлки газовыя, II, 188.
Горѣніе, II, 39, 113, 161—194.
Градусное измѣреніе Европейское, II, 557.
Градусныя измѣренія, II, 536—539, 542—551.
Градъ, I, 539.
Гранитъ, II, 204, 206.
Графика, I, 21.
Графитъ, II, 135, 137, 140.
Греческая астрономія, II, 316, 334—342.
Греческіе философы, II, 23.
Гринвичъ, см. Обсерваторія Гринвичская.
Гроза, I, 539.
Гуминовыя вещества, II, 170.
Гумусъ, II, 125.

Давленіе воздуха, I, 539.
Давленіе газа по кинетической теоріи, I, 134—135, 138—140.

Дагерротипія, I, 326.
Дальнозоркость, I, 360.
Дальтонизмъ, I, 374.
Двойныя звѣзды, II, 385, 498, 501.
Деформація, I, 87.
Диморфизмъ, II, 228.
Дина, I, 72, 73, 103, 266.
Динамомашина, I, 425.
Диссонансъ, I, 522, 523, 525.
Диссоціація, II, 89, 297—299, 301.
Дистиллированная вода, II, 85.
Дистилляція II, 85.
Дифференцированіе, I, 37.
Дифференціальное исчисленіе, I, 7, 37.
Дифференціальное отношеніе, I, 2.
Дифференціальное уравненіе, I, 43.
Дифракціонные спектры, I, 307.
Дифракція, I, 305, 411.
Диффузія газовъ, I, 144, 145.
Диффузія жидкостей, I, 155.
Диффузія твердыхъ тѣлъ, I, 157.
Діапозитивъ, I, 335.
Діоптръ, II, 428.
Діэлектрическая поляризація, I, 495.
Длина свободнаго пути газовыхъ молекулъ, I, 132—134, 144—148.
Долгота астрономическая, II, 417.
Долгота географическая, II, 425, 551.
Друммондовъ свѣтъ, II, 98, 191.
Дуговыя электр. лампы, I, 432.
Дыханіе, II, 39, 144, 154 — 156, 166, 167.
Дѣлимость матеріи, I, 111, II, 55.
Дѣйствіе на разстояніи, I, 484.

Единица силы тока, I, 264.
Единица электродвижущей силы, I, 264.
Единицы сопротивленія, I, 263.

Желтое пятно глаза, I, 364, 365.
Живая сила, I, 78, 80.
Жидкости, I, 82, 87, 94, 98 — 102, 104—110, 128.
Жизненная сила, II, 133.
Задача о трехъ тѣлахъ, II, 379, 382.
Задачи опытнаго знанія, I, 56.
Законъ Авогадро, II, 94.
Законъ Архимеда, II, 447.
Законъ Бойля - Маріотта, I, 120, 103, 110, 138, 141.
Законъ вѣчности матерій, II, 15, 42, 46, 57.
Законъ кратныхъ отношеній, II, 52, 54, 56, 80.
Законъ Максвелля, I, 135—138.
Законъ паевъ, II, 53.
Законъ постоянства состава, II, 52.
Законъ сохраненія энергіи, I, 159, II, 19, 41, 46.
Законы Гэй-Люссака, II, 67.
Законы Кеплера, II, 349, 353, 357, 365, 368, 369, 372.
Законы Ньютона, I, 66, II, 360—361, 510.
Затменія лунныя, II, 324, 326, 535.
Затменія солнечныя, II, 325, 326.
Затуханіе колебаній, I, 143.
Зенитное разстояніе, II, 393, 409.
Зенитъ, II, 440, 509.
Зикура, II, 318, 323.
Зодіакальныя звѣзды и созвѣздія, II, 322, 335.
Зодіакъ, II, 316, 318, 328, 329, 330, 335, 339.
Зооскопъ, I, 372.
Зрачекъ входа лучей, I, 402.
Зрачекъ выхода лучей, I, 402.
Зрительная линія, I, 357.
Зрительная ось, I, 357.
Зрительная труба, I, 400, 409, 494, II, 474—486.
Зрительныя иллюзіи, I, 363.
Зрѣніе, I 350, 390.

Идеальная тепловая машина, I, 228.
Идентичныя точки глазъ, I, 377.
Изаномалы, I, 533.
Известковая вода, II, 7, 142, 254.
Известняки, II, 216.
Известь, II, 15, 214.
Изморозь, I, 538.
Измѣреніе времени, II, 326, 460.
Измѣреніе энергіи, I, 169.
Изобары, I, 540.
Изомерія, II, 147, 274.
Изоморфизмъ, II, 228.
Изохронизмъ маятника, II, 445, 449.
Илъ глубоководный, II, 221.
Импульсъ силы, I, 73, 140.
Индукція тоновъ, I, 501, 502.
Иней, I, 538.
Инерція, I, 66, 67, 78, 80, II, 360, 364.
Инструментъ прохожденій, см. пассажный инструментъ.
Интегралъ I, 39.
Интегральное исчисленіе, I, 38, 39.
Интегрированіе I, 40, II, 525.
Интерполяція I, 21.
Искусственный дождь, I, 536.
Испаряемость жидкостей, I, 155—156.
Источники электрической энергіи, I, 413.
Іерархія позитивныхъ наукъ, I, 4.
Іатрохимическій періодъ исторіи химіи, II, 29.

Калориметръ Лавуазье, II, 41.
Кальцій-карбитъ, I, 481, II, 190.

Каменноугольные бассейны, II, 172, 173.
Каменноугольный періодъ, II, 139
Каменный уголь, см. уголь каменный.
Каникулы (астрон.), II, 316.
Каолинъ, II, 211.
Капельно-жидкія тѣла, I, 82, 94, 95, 99, 101, 107, 110.
Капиллярныя трубки, I, 122.
Капиллярныя явленія, I, 121 — 129, 150, 152.
Карбоксилъ, II, 71.
Карборундъ, I, 481.
Каталоги звѣздные, II, 337, 483, 484.
Квадрантъ стѣнной, II, 428, 429, 479.
Кварта, I, 523.
Кварцевыя нити, I, 129, II, 430.
Кварцъ, II, 120, 261.
Квинта, I, 523.
Керосинъ, II, 179.
Кинематографъ, I, 372.
Кинетическая энергія, I, 165.
Кинетическая теорія газовъ, I, 130.
Кислородъ, II, 14, 37, 92, 108, 111, 118, 275.
Кислоты, II, 226.
Климатъ, I, 529, 531.
Клѣтчатка, II, 169.
Коксованіе, II, 175.
Коксъ, II, 175.
Количество движенія, I, 68, 73, 76, 77, 78, 138, 140, 142, 144.
Коллимаціонная линія, II, 449.
Коллимація, II, 449.
Комбинаціонные тоны, I, 520.
Кометы, II, 353, 371, 386, 577, 580, 595—596.
Компараторъ, II, 530.
Компенсація, II, 446, 450, 531.
Конвекція, I, 530.
Консонансъ, I, 522, 523, 525.
Координаты, I, 20, II, 405, 405.
Координаты астрономическія, II, 404, 407, 424, , 510.
Координаты геліоцентрическія, II, 423.
Координаты географическія, II, 424, 426.
Координаты геоцентрическія, II, 421.
Координаты звѣздъ, I, 346.
Коралловые рифы, II, 219.
Корненожки, II, 219.
Космогонія, II, 575—614.
Коэффиціентъ внутренняго тренія, I, 144.
Кратныя звѣзды, II, 570—571.
Крахмалъ, II, 154, 158.
Кремневый ангидридъ, II, 114, 199.
Критическая температура, II, 88, 113, 119.
Критическое состояніе газовъ, II, 89.
Кропгласъ, II, 479.
Круговоротъ воды, I, 201.
Круговоротъ углерода, II, 156—158.
Кружокъ Рамсдена, I, 401.
Кулонъ — единица количества электричества, I, 268.
Кульминація, II, 412, 433, 434.
Кучевыя облака, I, 537.

Лампа Деви, II, 172, 173.
Левулеза, II, 265.
Ледники, I, 93.
Лигнинъ, II, 169.
Лигнитъ, II, 138.
Линейная функція, I, 24.
Логарифмы, II, 493.
Луна, II, 318, 323, 324, 331, 336, 338, 339, 370, 402, 611.
Лунный узелъ, II, 319, 399, 402.
Лупа, I, 393.
Ляписъ, II, 123.

Максвелева теорія магнитнаго поля, I, 490, 492.
Малахитъ II, 10.
Манноза, II, 275.
Марена, II, 152.
Марсъ (планета), II, 318, 324, 329, 331, 337, 346, 349, 352, 511, 524, 596.
Масса, I, 70, 71, 73.
Математика, I, 6, 8, 11, 13, 48.
Матеріальная теорія теплоты, I, 130, 185.
Матерія, I, 111, II, 45, 48, 58, 251.
Машина Ньюкомена, I, 240.
Маятникъ, II, 460, 464, 541.
Маятникъ коническій, II, 472.
Медвѣдица малая (созвѣздіе), II, 316, 410.
Меридіанная труба, см. пассажный инструментъ.
Меридіанный кругъ, II, 431, 436, 440, 441, 451.
Меридіанъ, II, 393, 409, 410.
Меридіанъ первый географическій, II, 421, 426.
Меркурій (планета), II, 318, 324, 331, 344, 371, 450, 512, 524, 595, 611.
Металлоиды, II, 50, 224, 225, 226, 239.
Металлы, II, 50, 224, 225, 239.
Метанъ, II, 145.
Метеоритная пыль, II, 129.
Метеорологическія сѣти, I, 529.
Метеорологія, I, 526.
Метеоры или метеориты, II, 353.
Метилъ, II, 146, 271.
Методъ среднихъ величинъ, I, 526.

Метрическая система мѣръ, I, 253, II, 543.
Механика, I, 6.
Механическая работа, I, 159.
Механическая теорія теплоты, I, 131, 150.
Механическіе источники электрической энергіи, I, 424.
Механическій эквивалентъ теплоты, I, 190.
Микрометръ нитяный, II, 436, 438, 473, 474.
Микрометръ позиціонный, II, 734, 474.
Микроскопъ, I, 396, 401, 409.
Микрофонъ, I, 462, 463.
Міопія, I, 360.
Млечный путь, II, 493, 561, 569.
Многофазный токъ, I, 429.
Молекула, см. частица.
Молекулярная гипотеза, I, 111, 112.
Моментъ инерціи, II, 465, 450, 509.
Мостикъ Уитсона, I, 251.
Мочевина, II, 133.
Мѣлъ, II, 219, 253.

Надиръ, II, 409.
Надиръ-горизонтъ, II, 410.
Натяженіе поверхностно?, I, 96, 123, 127, 151.
Nautical Almanac, II, 391, 392, 499.
Начало астрономіи, II, 313, 333.
Начало координатъ, I, 20, II, 421.
Небесная механика, II, 371, 381, 382, 383, 506, 513, 586.
Негативное изображеніе, I, 327.
Недѣлимость молекулъ, I, 153.
Недѣля (астрон.), II, 330.
Независимое перемѣнное, I, 9.
Необратимые процессы, I, 87.
Непроводники электричества, I, 493.
Нептунъ (планета), II, 353, 371, 383, 384, 385, 524, 595, 596, 606, 608.
Неравенства (астрон.), II, 382.
Нефть, II, 147, 177, 181.
Нефтяныя масла, II, 179.
Низшій предѣлъ размѣровъ частицъ, I, 150.
Нормальная яркость оптическихъ изображеній, I, 405.
Нормальное увеличеніе оптическихъ инструментовъ, I, 405.
Нутація, II, 399, 403, 405, 500, 509.

Облака, I, 537.
Обмѣнъ веществъ, II, 167.
Обработка желѣза, I, 476.
Обращеніе линій спектра, I, 313.
Обсерваторія (астрон.), II, 318, 444, 447 459.
Обсерваторія Гринвичская, II, 428, 441, 444, 488.
Обсерваторія Лика, II, 477, 502, 566.
Обсерваторія Московская, I, 348, II, 446.
Обсерваторія Парижская, II, 469, 488, 511.
Обсерваторія Потсдамская, II, 486, 523.
Обсерваторія Пулковская, II, 431, 442, 443, 454, 457, 458, 463, 476, 477, 478, 482, 509, 510, 521, 544, 545, 546, 551, 566.
Обсерваторія Страсбургская, II, 444, 486.
Обсерваторія Тихо Браге, см. Уранибургъ.
Обсерваторія Yerkes'a, II, 477, 486.
Обугливаніе, II, 175.
Общій круговоротъ воздуха въ атмосферѣ, I, 546, 554.
Объективъ, I, 394.
Объективъ Пулковскаго рефрактора, II, 479, 480.
Объективъ фотографическій, I, 335.
Объемныя отношенія (хим.), II, 68.
Огнеупорные матеріалы, II, 175.
Озонъ, I, 481, II, 115, 294.
Окисленіе, II, 32, 37, 39, 114.
Окислы основные и кислотные, II, 114. 199, 225, 227.
Окись углерода, II, 142.
Октава, I, 523.
Окуляръ, I, 394.
Омъ—единица электр. сопротивленія, I, 264.
Оптическіе инструменты, I, 389, 412.
Опыты Герца, I, 504, 505, 506, 507.
Органическія соединенія, II, 262.
Ордината, I, 19.
Оріонъ (созвѣздіе), II, 327, 329.
Ортохроматизмъ, I, 341, 342.
Ортохроматическая пластинка, I, 341.
Осадки атмосферные, I, 538.
Оси инерціи, II, 509.
Ось абсциссъ, I, 19.
Ось міра, II, 335, 410, 422.
Ось прямого зрѣнія, I, 365.
Отмучиваніе, II, 6.
Относительное поле оптическаго инструмента, I, 398.
Отрицательные слѣды, I, 372.
Отсѣчка пара, I, 239.
Охлаждающія смѣси, II, 94.
Оцѣнка разстояній, I, 380.
Очки, I, 361.
Оцѣнка работы, I, 160.

Парабола, II, 367, 372, 467, 468.
Параллаксъ, I, 380, II, 394, 422, 423, 424, 559, 561.

Параллактическая установка рефракторовъ, II, 454.
Параллактическія перемѣщенія, II, 345, 559, 560.
Параллельные круги или параллели, II, 410.
Параметръ, I, 26.
Паровой кожухъ, I, 239.
Паръ, I, 105 — 107.
Пассажный инструментъ, II, 442, 449.
Пассаты, I, 241, 546, 547.
Первый законъ теплоты, I, 223.
Перегонка, II, 85.
Перегрѣваніе воды, II, 86.
Перегрѣтый паръ, II, 89.
Передача силы электрич. путемъ, I, 443.
Переохлажденіе воды, II, 86.
Пересыщенные растворы, II, 102.
Перигей, II, 338.
Перигелій, II, 371.
Періодическій законъ (система) элементовъ, II, 235 — 251.
Пертурбація маятника, II, 552, 553.
Песокъ, II, 49.
Пигментное печатаніе, I, 334.
Пиронафтъ, II, 180.
Питаніе растеній, I, 202.
Пламя, II, 161, 182, 183.
Планеты, II, 335, 336, 339, 344, 352, 584, 613.
Планеты малыя, II, 353, 383, 500.
Пластичность, I, 80, 92, 93.
Пластичныя тѣла, I, 85 — 91.
Платинотипія, I, 335.
Плеяды, II, 316, 322, 327, 329, 574.
Плотность газовъ, II, 69, 71.
Плѣсень, II, 130.
Поверхности равнаго давленія, I, 542, 554.
Поверхности уровня, I, 540.
Поглощеніе солнечной энергія на землѣ, I, 197.
Позитивный процессъ въ фотографіи, I, 332.
Поле зрѣнія, I, 369.
Поле оптическихъ инструментовъ, I, 397.
Полиморфизмъ, II, 261.
Полуденная линія, II, 410.
Полуденная труба, см. пассажный инструментъ.
Полюсъ міра, II, 410.
Поляризація электромагнитныхъ лучей, I, 507.
Поляризованный лучъ, I, 293.
Полярная звѣзда, II, 316, 405, 410.
Полярное разстояніе, II, 413.
Пониженіе уровня океановъ, II, 553.
Пополненіе солнечной энергіи, I, 198, 201.
Попятное движеніе планетъ, II, 336, 345.
Постоянные газы, I, 107 — 109.
Постоянство энергіи, I, 169.
Потенціальная массовая энергія, I, 165.
Потенціальная частичная энергія I, 167.
Почва, II, 220.
Превращенія энергіи, I, 169.
Превращенія энергіи солнечной, I, 46, 201 — 203.
Предвареніе равноденствій, см. прецессія.
Предметъ химіи, II, 3.
Предсказаніе погоды, I, 548.
Предѣлъ яснаго зрѣнія, I, 360.
Предѣльное увеличеніе микроскопа, I, 412.
Пресбіопія, I, 361.
Прецессія, II, 337, 338, 398, 406, 500, 509.
Приливы и отливы, II, 375, 609, 611.
Принципъ разсѣянія энергіи, I, 150.
Природа тепла, I, 130, 131.
Проводники электричества, I, 494.
Производная функція, I, 34.
Простыя колебанія, I, 517.
Простыя тѣла, см. элементы.
Противодѣйствіе, I, 97, 77, 112.
Проціонъ, II, 501, 502.
Прочность солнечной системы, II, 382, 383, 513, 609.
Проявленіе негативовъ, I, 332.
Прямое восхожденіе, II, 399, 404, 416.
Пулково, см. обсерваторія Пулковская.

Работа, I, 78, 79.
Работа внѣшняя, I, 180.
Работа тѣла на себя, I, 164.
Равновѣсіе подвижное, I, 164.
Равноденствія, II, 329, 335, 398, 401, 417, 427.
Радіусъ сферы дѣйствія частичныхъ силъ, I, 113, 117 — 120.
Разностные комбинаціонные тоны, I, 521.
Разрѣшающая сила телескопа, I, 411.
Распредѣленіе силы электр. путемъ, I, 442.
Разсѣяніе энергіи, I, 150, 180, 243.
Раствореніе газовъ въ водѣ, II, 99.
Растяжимость жидкостей, I, 115.
Расходъ энергіи при работѣ, I, 175.
Рафинированіе, I, 469.
Реакціи обмѣна, II, 5, 57, 77.
Реакціи разложенія, II, 5, 57, 77.
Реакціи соединенія, II, 5, 57, 77.
Реакціи экзотермическія, II, 296.

Реакціи эндотермическія, II, 296.
Резонаторы Гемгольца, I, 514.
Реле, I, 453.
Рельефное зрѣніе, I, 379.
Ретина, I, 356.
Рефлекторъ, II, 471.
Рефракторъ, II, 471.
Рефракторъ Пулковскій 30-дюймовый, I, 495, II, 477 — 486.
Рефракція астрономическая, II, 394. 495 — 496.
Роса, I, 538.
Ртутный вольтъ-агометръ, I, 491.

Сабеизмъ, II, 314, 315.
Саросъ, II, 324.
Сатурнъ (планета), II, 318, 324, 328, 331, 336, 348, 372, 373, 381, 499, 524, 541, 592.
Сахаръ, II, 153, 158, 262.
Свинцовый блескъ, II, 26, 199.
Свойства механическихъ единицъ, I, 90.
Свойства тѣлъ, физическія и химическія, I, 112, 149.
Свѣточувствительность фотографическихъ пластинокъ, I, 330 — 332.
Свѣчи, II, 181.
Сгущеніе пара, I, 535.
Секторъ (астрон.), II, 394, 428.
Секундальная ошибка хронометра, II, 451.
Селитра калійная, II, 9, 123.
Селитра натровая, II, 9, 121.
Сжатіе (сплюснутость) земли II, 401, 539 — 554, 541, 542.
Сжиженіе газовъ, I, 107 — 108.
Сжимаемость, I, 102 — 106.
Сила, I, 68, 72 — 78.
Сила звука, I, 510.
Силикаты, II, 200, 261.
Силовыя линіи Фарадея, I, 486, 487.
Силы отталкивательныя, I, 112—118, 129, 130, 134 — 135.
Силы притягательныя, I, 112 — 118, 129, 135, 155.
Силы частичныя, I, 111—129, 135.
Симбіозъ, II, 124.
Синоптическія карты, I, 548, 549.
Синтезъ, I, 42, 44.
Синтезъ (хим.), II, 59, 260.
Сиріусъ, II, 316, 317, 327, 329, 416, 501, 502, 522.
Система единицъ, I, 265.
Система координатъ, II, 408.
Система міра Коперника, II, 334, 343 — 355, 357, 559.
Система міра Ньютона, II, 334, 356, 377.
Система міра Птоломея, II, 334, 340, 341, 559.
Система міра Тихо Браге, II, 494.
Склоненіе (астр.), II, 413, 440.
Скорость движенія, I, 29, 40, 69—70, 72.
Скорость измѣненія линейной функціи, I, 28.
Скорость паденія, I, 29.
Скорость свѣта, II, 390 — 392.
Скорость частицъ газовъ, I, 131, 132, 135 — 138, 139.
Скрытая теплота плавленія, I, 185.
Слѣпое пятно глаза, I, 364.
Слюда, II, 205.
Смѣна гипотезъ, I, 61.
Собственное движеніе звѣздъ, II, 498, 500, 572 — 574.
Совершенные газы, I, 134.
Сода, II, 7.
Соли, II, 114, 200, 226.
Солнце, II, 318, 322, 331, 335.
Солнцестояніе, II, 327, 401, 427.
Соль каменная, II, 208.
Соотвѣтственныя точки глазъ, I, 377.
Состоянія тѣлъ, I, 110 - 111, 113 — 117.
Спектральный анализъ, I, 299, 311, 321, 323.
Спектроскопъ, I, 305, II, 385, 550.
Спектры поглощенія, I, 321, II, 489.
Спектры различныхъ тѣлъ, I, 309.
Спиртъ метильный, II, 149, 150.
Спиртъ этильный или винный, II, 76, 149, 150.
Спирты, II, 149, 150.
Средняя длина свободнаго пути молекулъ, I, 143, 144, 145.
Сродство избирательное, II, 283.
Сродство химическое, II, 50, 279, 307.
Сталагмиты, II, 216.
Сталактиты, II, 216.
Стереохимія, II, 275.
Стробоскопъ, I, 372.
Строеніе газовъ, I, 130.
Строеніе химической частицы, II, 273, 277.
Субъективные цвѣта, I, 375.
Сужденіе аналитическое, I, 49.
Сужденіе о величинѣ предметовъ, I, 382.
Суммовые комбинаціонные тоны, I, 521.
Сутки звѣздныя, II, 335, 415, 416, 420.
Сутки солнечныя, II, 418.
Сутки среднія, II, 416 — 420.
Суточное движеніе, II, 415.
Суточный ходъ атмосфернаго давленія, I, 528.
Суточный ходъ часовъ, II, 464, 467.
Сухая перегонка, II, 174.
Сфероидъ, см. эллипсоидъ вращенія.
Сфероидъ типическій листинга, II, 557.

Сфера дѣйствія частичныхъ силъ, I, 113, 117—120.
Съѣздъ Британской Ассоціаціи, I, 265.
Сѣрный колчеданъ, II, 199.
Сѣроуглеродъ, II, 148.
Сѣтчатка, I, 356, 364, II, 564.

Тауматропъ, I, 372.
Текучесть твердыхъ тѣлъ, I, 91—93, 181.
Телеграфъ, I, 451, 464, II, 551.
Телефонъ, I, 416, 464.
Тембръ, I, 511, 518, 519.
Температура абсолютная, I, 137.
Температура абсолютная кипѣнія, II, 88.
Темперированная гамма, I, 513.
Теодолитъ, II, 447.
Теоріи вѣроятностей, I, 136, 137.
Теорія Гельмгольца, I, 82, 83.
Теорія дисперсіи, I, 302.
Теорія кинетическая газовъ, I, 130—158.
Теорія кинетическая жидкостей, I, 154, 155.
Теорія кинетическая твердыхъ тѣлъ, I, 156.
Теорія магнетизма Ампера, I, 489, 490.
Теорія спектральныхъ цвѣтовъ, I, 301.
Теорія строенія (хим.), II, 62, 151.
Теорія типовъ (хим.), II, 62.
Тепловая энергія I, 167.
Тепловыя машины, I, 222.
Теплоемкость простыхъ тѣлъ, II, 74.
Теплопроводность, I, 209—210.
Теплопроводность газовъ, I, 144, 145.
Теплородъ, I, 117, 130, 185, II, 288.
Теплота, какъ форма энергіи, I, 193.
Термохимія, II, 193.
Термоэлементъ, I, 421.
Терція, I, 515.
Тлѣніе, II, 163.
Торфъ, II, 138, 170.
Точность измѣреній, I, 254, II, 448, 449.
Транзитъ, транзитный инструментъ, см. пассажный инструментъ.
Трансформаторъ электрическаго тока, I, 438.
Треніе въ газахъ, I, 143, 144.
Трехцвѣтное печатаніе, I, 342.
Тригонометрическіе сигналы, II, 548.
Тріангуляція см. градусныя измѣренія.
Туманъ, I, 238.
Туфъ, II, 216, 217.
Тѣла жидкія см. жидкости.
Тѣла простыя, II, 15.
Тѣла сложныя, II, 15.
Тѣла твердыя, I, 81, 82, 118—126, 127—131, 139, 140, 144.
Тяготѣніе всемірное, II, 356, 377, 378, 389.

Углеводороды, II, 145, 147.
Углеводы, II, 152—154.
Углекислая известь, II, 8, 143.
Углекислота, II, 8, 74, 128, 136, 141, 144, 156, 157, 253.
Углекислый газъ, см. углекислота.
Углеродъ, II, 133, 160.
Угловой коэффиціентъ, I, 24.
Уголъ зрѣнія, I, 361.
Уголь древесный, II, 134, 138, 174.
Уголь каменный, II, 138, 171, 172, 173.
Удѣльный вѣсъ земного шара, II, 202.
Удѣльный вѣсъ тѣлъ, II, 59, 232.
Удѣльный объемъ, II, 243.
Узловая точка глаза, I, 357.
Уклоненія отвѣса, II, 554, 555.
Универсальный инструментъ, II, 447, 548.
Унитарное ученіе (хим.), II, 62.
Упругія тѣла, I, 119—123, 126—129, 130, 131.
Упругость, I, 119—123, 126—129.
Упругость жидкостей, I, 94, 95.
Упругость молекулъ, I, 152.
Упругость пара, I, 104, 157.
Уравненіе времени, II, 418, 419.
Уравненіе личное, II, 456, 459.
Уравненіе свѣта, II, 391, 292.
Ураниборгъ, II, 494, 495.
Уранъ (планета), II, 353, 383, 384, 524, 589, 595, 606, 610.
Уранъ (элементъ), I, 476.
Уровень (инструментъ), II, 452, 454, 455.
Ускореніе, I, 69, 70.
Ускореніе луны, II, 506, 508.
Устойчивость формы и объема тѣлъ, I, 112, 117.
Устройство человѣческаго глаза I, 353.

Физика атмосферы, I, 526—651.
Физическія явленія, II, 1.
Фиксированіе фотографическихъ изображеній, I, 327, 333.
Философскій камень, II, 27, 29.
Фильтрованіе, II, 83.
Флинтгласъ, II, 479.
Флогистическій періодъ химіи, II, 32.
Флогистонъ, I, 185, II, 32, 33, 40.
Форма или фигура земли, II, 528—558.
Формальдегидъ, II, 153, 158.
Формула Ванъ-деръ-Ваальса, I, 142, 143, 174—179.
Фосфены, I, 370.
Фосфоръ, II, 110, 114.
Фотографическій аппаратъ, I, 335.

Фотографическій объективъ, I, 336.
Фотографія, I, 325 — 349.
Фотографія астрономическая, I, 344, 348, II, 519, 565, 566.
Фотометры астрономическіе, II, 516—519.
Фруктоза, II, 265.
Функція, I, 8 — 11.

Хаотичность состоянія газа, I, 132—136.
Химизмъ, II, 4.
Химическіе знаки, формулы и уравненія, II, 75 — 77.
Химическіе источники электрической энергіи, I, 420.
Химическія реакціи, II, 5.
Химическія явленія, II, 1, 3.
Химическое превращеніе, II, 4.
Химическое соединеніе, II, 7, 51.
Химическое сродство, II, 50, 224, 266, 279 — 306.
Химія органическая, II, 133.
Химія у египтянъ, II, 22.
Хлорофилловыя зерна, II, 158.
Холодильникъ, I, 227, 239.
Хронографъ электрическій, II, 457 — 459, 468.
Хронометръ, II, 464, 468, 551.
Хрупкія тѣла, I, 85 — 91.
Хрупкость, I, 85 — 91, 94, 156.
Хрусталикъ глаза, I, 356.

Цвѣта спектра, I, 299.
Цвѣтная слѣпота, I, 374.
Цвѣтная фотографія, I, 338.
Цвѣтное зрѣніе, I, 372.
Центробѣжная сила, II, 539, 540.
Центръ качанія маятника, II, 461, 462.
Циклонъ, I, 544 — 549.
Ціанъ, II, 148.

Часовой уголъ, II, 413.
Часовой ходъ экваторіаловъ, II, 470—472, 484.
Частица (хим.), II, 55, 58, 63 — 74, 81.
Частицы, I, 109, 129, 130, 158.
Часы съ маятникомъ, II, 459 — 468.
Черноземъ, II, 170.
Число, I, 13, 49, 50.
Число столкновеній частицъ газа, I, 132 — 133, 146.
Чистота спектра, I, 307.
Чугунъ, II, 135.

Широта астрономическая, II, 417, 417.
Широта географическая, II, 425, 447, 493, 534.
Широты геодезическія, II, 555.
Шпатъ полевой, II, 205, 261.

Эвекція, II, 339.
Экваторіалъ, II, 468, 471.
Экваторіальная камера, I, 348, II, 446.
Экваторіальная установка трубъ, см. параллактическая установка.
Экваторіальныя координаты, II, 412 — 414.
Экваторъ земной, II, 535.
Экваторъ небесный, II, 335, 338.
Эквивалентность энергіи, I, 169, II, 48.
Эквивалентъ (хим.), II, 80.
Экзотермическіе процессы, I, 296.
Эклиптика II, 330, 335, 395, 402, 403, 405, 417, 420, 427, 535, 567.
Эклиптическія координаты, II, 416, 417.
Эксцентрицитетъ, II, 339, 351, 438, 596
Эксцентрическая орбита, II, 338, 347.
Электрическая сигнализація, I, 450.
Электрическая тяга, I, 445, 448.
Электрическая упругость, I, 496.
Электрическая энергія, I, 168.
Электрическій вибраторъ, I, 504.
Электрическій разрядъ, I, 496.
Электрическій резонаторъ, I, 505.
Электрическій токъ, I, 496, 497.
Электрическій унисонъ, I, 506.
Электрическіе лучи, I, 503.
Электрическіе прожекторы, I, 449.
Электрическіе экипажи и лодки, I, 447.
Электрическія колебанія, I, 504, 505.
Электрическія лампы, I, 433.
Электрическія печи, I, 472, 474.
Электрическое освѣщеніе, I, 431, 440, II, 191.
Электрическое перемѣщеніе, I, 495.
Электрическое поле, I, 495.
Электроаналлзъ, I, 468.
Электродвигатели, I, 441, 448.
Электродвижущая сила, I, 442.
Электролизъ, I, 165, 478, 482, II, 90.
Электролитъ, I, 465.
Электромагнитный двигатель, I, 490.
Электромагнитныя волны, I, 296, 502, 503.
Электрометаллургія, I, 469.
Элетрохимія, I, 465—485.
Элементы химическіе, II, 15, 16, 31, 48, 49, 81, 224—251.
Эллипсоидъ вращенія, II, 539, 542.
Эллипсоидъ трехосный, II, 541, 552.
Эллипсъ, II, 350, 351, 354, 356, 367, 371.
Эмпирическая функція, I, 11.
Эмпирическое обобщеніе, I, 57.

Эндотермическіе процессы, I, 296.
Энергія, I, 159, 178, II, 17, 45, 49, 81.
Энергія воздушныхъ массъ, I, 196.
Энергія, запасенная растеніями, I, 202.
Энергія лучей свѣта, I, 168.
Энергія положенія, I, 188.
Энергія солнца, I, 196.
Энергія химическаго сродства, I, 167, II, 50, 51, 279, 280, 289.
Эпициклъ, II, 339, 347.
Эра Набонассара, II, 325.
Этанъ, II, 146.
Этилъ, II, 146.
Эфимериды астрономическія, II, 499.
Эфирныя масла, II, 147.
Эфиръ, I, 272, 277, 290, 294—298, 488, 489, II, 24.

Югозападный муссонъ, I, 548.
Юпитеръ (планета), II, 318, 324, 329, 330, 336, 337, 339, 340, 348, 380, 390, 391, 392, 503, 524, 541.

Яркость звѣздъ, II, 521—522.
Яркость изображеній оптическихъ инструментовъ, I, 403.
Яркость луны, II, 524.
Яркость планетъ и спутниковъ, II, 524—526.
Яркость солнца, II, 523.